Dr Petar Gburčik rođen je 1931. u Sremskoj Mitrovici. Školovao se u Beogradu gde je 1960. i doktorirao na katedri za meteorologiju Prirodno-matematičkog fakulteta.

U periodu do doktorata radio je u hidrometeorološkoj službi kao prognostičar.

Od 1961. do 1968. bio je docent na Katedri za meteorologiju Prirodno-matematičkog fakulteta.

Od 1968. radi ponovo u hidrometeorološkoj službi, a na fakultetu je aktivan kao honorarni nastavnik.

U svom radu na fakultetu orijentisao se na oformljavanje predmeta **Merenja, osmatranja i obrada podataka.** Ovaj udžbenik sadrži program meteoroloških merenja i osmatranja, dok će obrada meteoroloških informacija biti data u posebnoj knjizi.

U hidrometeorološkoj službi je osnovna preokupacija autora bila na izgradnji jedinstvenog meteorološkog informacionog sistema. Radi se o tome da je već u neposrednoj budućnosti potrebno izgraditi sistem automatskih stanica koje će dostavljati informacije o meteorološkim elementima u centar u kome će biti podaci biti obrađivani pomoću elektronskog računara.

U dosadašnjem radu je formiran centar u kome se vrše automatske obrade, a predstoji rad na izgradnji automatizovane mreže, kojom bi se zaokružilo stvaranje kompletnog informacionog sistema. U ovoj oblasti važni su radovi autora: **Projekat automatizacije informacionog sistema hidrometeorološke službe** i **Telekomunikacije integrisane u automatizovani informacioni sistem HMS.**

Automatizacija obrade metoroloških merenja može se sprovesti samo na bazi odgovarajućih matematičkih modela. Navešćemo ovde dva matematička modela autora: **Klimatski matematički model prostorne raspodele aerozagađenja** i **Model numeričke prognoze vremena.** Pomoću prvog se, na osnovu meteoroloških merenja i podataka o izvorima aerozagađenja, dobija prostorna raspodela štetnih elemenata. Drugi model služi da se na osnovu početnih podataka izračunaju vrednosti meteoroloških elemenata u nekom budućem trenutku.

Petar Gburčik

METEOROLOŠKI INSTRUMENTI I OSMATRANJE

Prof. dr Petar Gburčik

METEOROLOŠKI INSTRUMENTI I OSMATRANJE

1.1.20. autorizovana skripta

izdaje

Izdavačko-informativni centar studenata
(ICS) Beograd, Balkanska 4/III
tel. 325-854
tek. rač. 60806-603-9282

za izdavača
Aleksandar Urdarević

recenzenti
dr Marijan Čadež
dr Đura Radinović

urednik
Nebojša Uzelac

oprema
Nenad Čonkić

tehnički urednik
Miloje Petrović

Rešenjem rektora Univerziteta u Beogradu
broj 06-316/1 od 21. marta 1974. godine
odobreno kao autorizovana skripta

tiraž 500 primeraka

štampa ŠIP »Srbija«, Beograd, Mije Kovačevića 5

Beograd, april 1975. godine

SADRŽAJ

I O meteorološkim merenjima 3
II Merenje temperature 5
III Merenje vlažnosti vazduha 37
IV Merenje padavina 53
V Merenje isparavanja 61
VI Merenje zračenja 67
VII Merenje atmosferskog pritiska 93
VIII Merenje elemenata vetra 107
IX Merenje elemenata atmosferskog elektriciteta 125
X Osmatranje oblaka 135
XI Određivanje vidljivosti 141
XII Merenje vertikalnih gradijenata meteoroloških elemenata 147
XIII Merenje strukture meteoroloških elemenata 155
XIV Automatske meteorološke stanice 159
XV Radio sonde 165
XVI Meteorološki radari 173

Literatura 179
Registar 181

I

O METEOROLOŠKIM MERENJIMA

Meteorološka merenja pružaju osnovni materijal za izučavanje i praćenje procesa u atmosferi. Podaci dobiveni tim merenjima koriste se za dobijanje slike procesa, na osnovu koje se može primenom matematičkih modela atmosfere izračunati buduće stanje pojedinih meteoroloških elemenata, a time i prognoza vremena.

Dve osnovne osobine meteoroloških pojava koje presudno utiču i na metodiku merenja su turbulentnost atmosfere i kompleksnost meteoroloških pojava. Prva osobina se ogleda u jakim kolebanjima meteoroloških veličina u vremenu i prostoru, a druga u tome da su sve meteorološke pojave posledica zajedničkog dejstva čitavog niza ravnopravnih uticaja.

Pretpostavimo da nas interesuje temperatura prizemnog sloja vazduha na nekom mestu. Usled toga što se temperatura vazduha menja u toku nekoliko sekundi neki put i za nekoliko stepeni, postavlja se problem utvrđivanja pojma temperature vazduha. Dalje, ako se prihvati da je potrebno meriti neku srednju temperaturu za određeni vremenski interval, postavlja se pitanje metodike takvog merenja i odgovarajućih instrumenata.

Usled toga što na primer temperatura vazduha na drugi način zavisi od intenziteta zračenja nego temperatura termometra, postavlja se pitanje zaštite od zračenja, kao i niza drugih faktora (vetra, vlažnosti) koja takođe mogu da utiču na tačnost merenja. Otklanjanje ovih izvora grešaka može da donese nove izvore grešaka, koji se često ne mogu u potpunosti eliminisati, pa čak ni otkriti.

Zbog toga je neobično važno da se uvek ima jasna predstava o tome koliko su neka merenja pouzdana i sa kojom se tačnošću može računati. Ne treba da postoji nesklad između tačnosti merenja, tačnosti očitavanja i tačnosti obrade rezultata.

Tačnost merenja se obično određuje pomoću apsolutne i relativne greške. Pod apsolutnom greškom se podrazumeva razlika između stvarne vrednosti merene veličine i rezultata merenja. Pod relativnom greškom podrazumeva se odnos apsolutne greške prema stvarnoj vrednosti. Relativna greška se često izražava u procentima.

Uzroci netačnosti merenja dele se na tri grupe:

1. Sistematske greške — One su izazvane uglavnom nesavršenošću instrumenata i metoda merenja kao i netačnom regulacijom instrumenata. Primeri sistematskih grešaka su:

Promena temperature vazduha može da utiče na pokazivanje instrumenata za merenje pritiska ili brzine vetra; termometri imaju izvesnu inerciju, usled čega njihova temperatura manje i ili više zaostaje za stvarnom temperaturom vazduha; neprilagođenost skale individualnim osobinama instrumenata itd.

Sistematske greške se mogu ukloniti usavršavanjem instrumenata ili metoda merenja, a mogu se eliminisati i prilikom obrade materijala. Tako se na primer u cilju eliminisanja uticaja temperature na merenje drugih veličina u instrumente uvode temperaturni kompenzatori a rade se i tablice za eliminisanje uticaja temperature. Uticaj neprilagođenosti skale individualnim osobinama termometra (ili nekog drugog instrumenta) eliminiše se time što se vrši upoređivanje sa etalonom u više tačaka skale, pa se na osnovu toga uvode popravke.

2. **Slučajne greške** — Ove greške nastaju usled ograničene tačnosti instrumenta i nedovoljno tačnog očitavanja. One se mogu izbeći. Osim toga slučajne greške nastaju i usled brzih varijacija elementa koji se meri. To su obično varijacije koje instrument ne može sa dovoljnom brzinom i tačnošću da prati. Slučajne greške se potčinjavaju zakonu slučajne raspodele Gausa, koji daje vezu između veličine greške i verovatnoće njenog nastanka. Verovatnoća pojavljivanja greške ne zavisi od znaka greške, tj. podjednako je verovatno, da će merenje dati za određeni iznos veću vrednost od stvarne, kao i da će dati manju vrednost. Drugim rečima, ako je broj osmatranja dovoljno veliki, pozitivne i negativne greške će se pojaviti podjednako često. Ako se izvrši sabiranje da bi se izračunala aritmetička sredina svih rezultata merenja, greške će se u sumi potirati. Zato se aritmetička sredina može smatrati kao tačna vrednost merene veličine. Mora se napomenuti da je često nemoguće razlikovati slučajne greške od sistematskih. Uvođenjem savršenijih instrumenata i metoda merenja često se utvrdi da su neke greške, koje su ranije smatrane za slučajne, ustvari sistematske.

3. **Grube greške (omaške)** — Nastaju nepažnjom osmatrača i dovode do očevidno pogrešnih rezultata. Zbog svoje upadljivosti lako se otkrivaju.

ODREĐIVANJE GREŠAKA

Ako su merenja veličine x izvršena *n* puta uzastopce jednim istim metodom i ako su sistematske greške i omaške isključene, konačan rezultat biće dat sa

$$x=\frac{x_1+x_2+\cdots+x_n}{n}=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}x_i \qquad (1,1)$$

Slučajne greške se u sumi potiru, pa je ova srednja vrednost istovremeno i najverovatnija vrednost merene veličine.

Apsolutna greška svakog pojedinačnog merenja je:

$$\varepsilon_i=(\bar{x}-x_i) \qquad (1,2)$$

Relativna greška data je sa:

$$\Gamma_i=\frac{(\bar{x}-x_i)}{(x)} \qquad (1,3)$$

Srednja apsolutna greška za niz od *n* merenja je:

$$\eta=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(\bar{x}-x_i) \qquad (1,4)$$

Stvarna vrednost mora biti bliska srednjoj vrednosti i razlikuje od nje najviše onoliko koliko iznosi srednja greška:

$$x=\bar{x}\pm\eta=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}x_i\pm\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(\bar{x}-x_i) \qquad (1,5)$$

II
MERENJE TEMPERATURE

SKALA TEMPERATURE

Ako se dva tela izoluju od uticaja okoline ali između njih postoji razmena toplote, posle izvesnog vremena nastupiće u tom sistemu (koji se sastoji od dva tela) toplotna ravnoteža. Tada kažemo da dva spomenuta tela imaju istu temperaturu. Sa promenom temperature menjaju se, u većoj ili manjoj meri, sve fizičke i geometrijske karakteristike tela. Međutim, praktično je teško izvodljivo određivati temperaturu nekog tela putem ispitivanja promena njegovih dimenzija, ili drugih fizičkih karakteristika. Zbog toga se temperatura nekog tela meri tako što se ono dovodi u toplotnu ravnotežu sa nekim drugim telom (termometrom) čije je ponašanje prilikom promene temperature već proučeno.

Ako termometar dovedemo u kontakt sa telom čiju temperaturu želimo da merimo, posle izvesnog vremena će usled razmene toplote između tog tela i termometra nastupiti toplotne ravnoteža. Drugim rečima termometar će primiti temperaturu tela, jer se pretpostavlja da termometar ima znatno manji toplotni kapacitet, pa ne može, da toplotom kojom sam raspolaže menja temperaturu tela čiju temperaturu treba meriti. (Ova pretpostavka ne važi na pr. u visokim slojevima atmosfere, gde je vazduh vrlo redak, pa je masa vazdha koji dolazi u kontakt sa termometrom mala). Za uspostavljanje toplotne ravnoteže neophodno je da protekne izvesno vreme. Koliko će vremena proteći do uspostavljanja toplotne ravnoteže zavisi, pored ostalog i od tačnosti sa kojom se temperatura meri.

Jedinica za merenje temperature se određuje na sledeći način. Utvrde se najpre dve osnovne, vrednosti temperature, koje onda možemo proglasiti za nulti i stoti podeok (stepen). Umesto broja 100 može se uzeti i neki drugi broj, to naravno nije bitno. Posle toga se interval između te dve vrednosti ekvidistantno podeli na određen broj jedinica. Obično se kao osnovne tačke uzimaju temperature topljenja leda i temperature pare ključale vode pri normalnom atmosferskom pritisku (760 mm Hg).

Time što smo uzeli ravnomernu podelu skale na stepene, unapred smo pretpostavili da između temperature i karakteristike tela koju merimo, postoji linearna zavisnost. Npr. ako merimo dužinu živinog stuba u termometru mi ustvari pretpostavljamo da se ta dužina menja linearno sa promenom temperature žive. Takva pretpostavka je samo približno tačna, jer je promena neke fizičke osobine tela obično komplikovanija i ne može se pretstaviti linearnom zavisnošću od temperature. Ako se preciznije prouče osobine žive, može se utvrditi da promena njene zapremine sa promenom temperature nije ravnomerna.

Ni fizičke karakteristike realnih gasova nisu strogo linearno zavisne od temperature. Najravnomernije od svih realnih gasova menja se pritisak i zapremina sa temperaturom kod vodonika. Zbog toga je 1877. bio izabran vodonik kao osnovno termometrisko telo i bilo je rešeno da se temperatura određuje merenjem pritiska hemiski čistog vodonika pri konstantnoj zapremini. Kao osnovne tačke za međunarodnu skalu uzete su osnovne tačke Celzijeve skale. Veza između pritiska i temperature idealnog gasa, data je Gej-Lisakovin zakonom:

$$p_t = p_0 (1 + \alpha t) \quad (2,1)$$

U ovoj formuli figuriše i koeficijent α koji zavisi od osobina gasa koji je u pitanju. Dalje, taj koeficijenat kod realnih gasova nije konstantan. On nije konstantan ni kod vodonika. To drugim rečima znači, da veza između pritiska i temperature kod realnih gasova nije strogo linearna, pa se pretpostavljanjem linearnosti unosi izvesna greška.

Pošto su merenja temperature pomoću karakteristika neke materije ustvari zasnovana na pretpostavci da se ta karakteristika menja linearno sa temperaturom, ovakva merenja imaju jednu principijelnu slabost. Ne može se, na osnovu toga što vodonični termometar pokazuje u istoj situaciji drugu temperaturu, unapred tvrditi da živin termometar greši. U oba slučaja je pretpostavljeno da se temperatura menja linearno sa promenom odgovarajuće fizičke karakteristike. Kod vodoničnog termometra karakteristika je pritisak gasa, kod živinog zapremina tečnosti. Kod koje termometarske materije je gornja pretpostavka najbolje ispunjena ne može se utvrditi prostim upoređivanjem merenja sa raznim materijama. Da bi se to utvrdilo, potrebno je imati način za merenje temperature prilikom koga ne dolazi u obzir osobine materije. Takvo merenje temperature se može izvesti pomoću Karnoovog ciklusa.

Ako se izvesna količina gasa izotermno širi ona će od okoline primati toplotu. Tu količinu gasa prenosimo adijabatski do hladnije sredine, a zatim je izotermno sabijamo, tako da ona toj sredini predaje toplotu.

Unutrašnja energija je konstantna u izotermnim procesima, pa su količine toplote jednake izvršenom radu, odnosno

$$dQ = \frac{RT}{V} dV$$

U integralnom obliku imaćemo za toplotu koja je oduzeta toplijoj sredini:

$$Q_t = RT_t \ln \frac{V_{4t}}{V_{3t}}$$

gde je sa Q_t označena toplota oduzeta toplijoj sredini, T_t — apsolutna temperatura toplije sredine, V_{3t} i V_{4t} su zapremine gasa na temperaturi toplije sredine pre širenja i posle širenja.

Toplota predata hladnoj sredini biće:

$$Q_h = RT_h \frac{V_{2h}}{V_{1h}}$$

gde h služi kao oznaka da se proces vrši u hladnijoj sredini.

Pošto su tačke 3 i 2, kao i tačke 1 i 4 na istim adijabatama u Karno-ovom ciklusu važi:

$$\frac{V_{3t}}{V_{4t}} = \frac{V_{2h}}{V_{1h}}; \ \ln \frac{V_{2h}}{V_{1h}} = -\ln \frac{V_{4t}}{V_{3t}}$$

Kada se to uzme u obzir dobija se:

$$Q_t : Q_h = T_t : T_h \quad (2,2)$$

Ovakav način određivanja temperature ne zavisi od osobina materijala i može se koristiti da se prokontroliše zavisnost promena različitih fizičkih karakteristika od temperature. Skala utvrđena na ovaj način naziva se termodinamička skala.

Danas je najrasprostranjenija takozvana Celzijeva skala, kod koje je interval između temperature leda koji se topi i pare ključale vode podeljen na 100 jedinica. Osim nje u upotrebi su još uvek skale Reomira i Farenhajta. Kod prve je gornji interval podeljen na 80 stepeni, a kod druge na 180 jedinica.

Farenhajtova skala se osim toga razlikuje još i po tome što su joj napred navedene osnovne tačke određene sa 32° i 212°F.

To je usled toga što pri određivanju ove skale kao nula nije bila uzeta temperatura leda koji se topi, nego jedna niža temperatura.

Za pretvaranje podataka sa jedne skale u drugu može se koristiti sledeća formula:

$$t_C = \frac{5}{4} t_R = \frac{5}{9} (t_F - 32) \quad (2,3)$$

gde je t_C—temperatura u stepenima po Celzijevoj skali, t_R-po Reomirovoj skali, t_F-po Farenhajtovoj skali

U cilju praktičnog određivanja skala uvedene su takozvane fiksne tačke. U oblasti temperatura koje se javljaju u meteorološkim merenjima, to su sledeće tačke:

1. Tačka sublimacije ugljendioksida: — 78,5°C

2. Tačka topljenja leda: 0°C

3. Tačka topljenja natrijum sulfata: +32,38°C

4. Tačka ključanja vode: 100°C

Sve ove temperature važe samo pod pritiskom od 760 mm Hg. Ove temperature su određene po termodinamičkoj skali. Ako bi smo hteli da se poslužimo nekim termometrom za interpolisanje temperatura od 0° do 100°, ne možemo više pretpostaviti da se njegove fizičke karakteristike menjaju linearno sa temperaturom. Ako bi smo to pretpostavili vrlo je verovatno da nam on za tačku 3 ne bi pokazao temperaturu od 32,38°C. Zato se postavljanjem termometra u natrium sulfat koji se topi, obeležava na njegovoj skali ta temperatura. Tako na skali sada postoje tri tačke: 0°, 32,38°, i 100°C. Ostale temperature se interpolišu ali ne više linearno kao kada smo imali fiksne samo krajnje tačke skale, nego po sledećoj formuli:

$$F = F_0 (1 + A + Bt^2) \quad (2,4)$$

Gde je F fizička karakteristika koja se meri (dužina živinog stuba, električni otpor itd.) na temperaturi t°C, F_0 ista karakteristika pri temperaturi 0°C, A i B su konstante koje se određuju tako da kriva (2,4) prolazi kroz fiksne tačke.

INERCIJA TERMOMETRA

Termometar ne prima temperaturu okoline trenutno. Između njega i okoline postoji razmena toplote, koja se približno može izraziti sledećom jednačinom:

$$dQ = -hS (t - \Theta) \, d\tau \quad (2,5)$$

gde je dQ-količina toplote koju termometar prima (daje) za vreme $d\tau$; h-koeficijent razmene toplote, koji zavisi od karakteristika termometra i sredine; S-površina termometra kroz koju se vrši razmena toplote; t-temperatura termometra Θ-temperatura sredine.

Prilikom razmene toplote menja se temperatura termometra. Promena temperature zavisi od količine toplote koju primi (daje) termometar:

$$dQ = cm\,dt \qquad (2,6)$$

gde je *c*-specifična toplota termometarske materije; *m*-masa te materije, *dt*-promena temperature izazvana dovođenjem toplote *dQ*.

Na osnovu jednačina (2,5) i (2,6) dobijamo:

$$\frac{dt}{d\tau} = -\frac{1}{\lambda}(t-\Theta) \qquad (2,7)$$

gde je

$$\lambda = \frac{mc}{hS} \qquad (2,8)$$

Jednačina (2,7) pokazuje brzinu promene temperature termometra, tj. brzinu kojom termometar prima temperaturu okoline. Ta brzina je obrnuto srazmerna konstanti λ, koja se naziva koeficijent termičke inercije termometra.

Ako je temperatura sredine konstantna, jednačina (2,7) može se lako integrisati:

$$\int \frac{dt}{t-\theta} = -\frac{1}{\lambda}\int d\tau$$

odnosno

$$t-\theta = ce^{-\frac{\tau}{\lambda}}; \quad \theta = \text{const}$$

gde se integraciona konstanta *C* određuje iz početnih uslova: pri $\tau=0$ i $t=t_0$ zamenom *C* dobija se:

$$\frac{t-\theta}{t_0-\theta} = e^{-\frac{\tau}{\lambda}} \qquad (2,9)$$

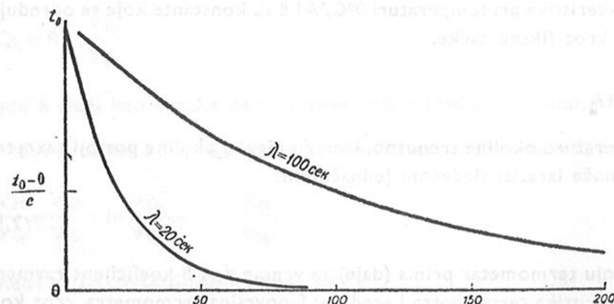
Iz jednačine (2,9) se vidi, da razlika između temperature termometra i sredine teži nuli utoliko brže, ukoliko je manje λ

Pomoću jednačine (2,9) mogu se određivati i greške merenja uslovljene inercijom termometra.

Ako u jednačini (2,9) stavimo da je vreme brojno jednako koeficijentu inercije λ, dobijamo

$$\frac{t_0-\theta}{t-\theta} = e \qquad (2,10)$$

Na osnovu jednačina (2,9) i (2,10) može se eksperimentalno odrediti koeficijent inercije kao vreme za koje se prvobitna razlika temperature termometra i sredine smanji e puta. (sl 1—II)-



Slika 1 — II

Ako temperatura sredine nije konstantna nego se menja linearno sa vremenom, jednačina (2,7) dobija sledeći oblik:

$$\frac{dt}{d\tau} = -\frac{1}{\lambda}(t-\theta_0-\alpha\tau) \qquad (2,11)$$

Da bismo tu jednačinu integrisali uvešćemo novu promenljivu:

$$x = t-\theta_0-\alpha\tau; \quad \frac{dt}{d\tau} = \frac{dx}{d\tau} + \alpha$$

Integracijom se dobija:

$$\int \frac{dx}{x+\alpha\lambda} = \int\left(-\frac{d\tau}{\lambda}\right)$$

ili, pošto zamenimo promenljivu sa *x*:

$$\ln(t-\theta+\alpha x) = -\frac{\tau}{\lambda} + C$$

Integraciona konstanta *C* određuje se iz početnih uslova: $\tau=0$, $t=t_0$ Tako se dobija: $C=\ln(t_0-\theta-\alpha\lambda)$ a odatle je:

$$t-\theta = (t_0-\theta+\lambda\alpha)\,e^{-\frac{\tau}{\lambda}} - \alpha\lambda$$

Ako je početna temperatura jednaka temperaturi sredine biće:

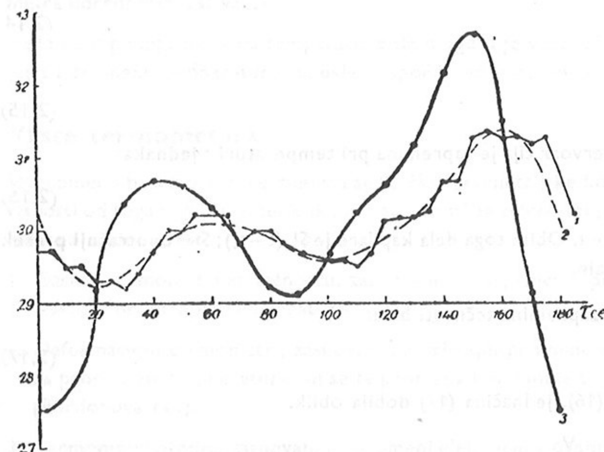
$$t-\theta = (e^{-\frac{\tau}{\lambda}} - 1)\,\alpha\lambda \qquad (2,12)$$

a, ako je vreme veliko u poređenju sa koeficijentom inercije:

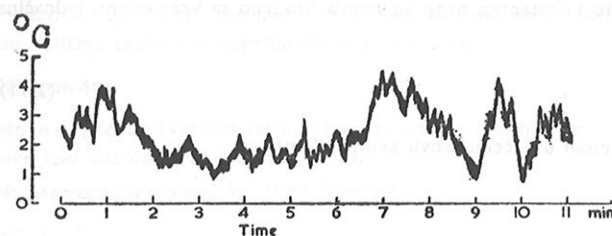
$$t-\theta = -\lambda\alpha \qquad (2,13)$$

Na taj način, posle izvesnog vremena, razlika između temperature termometra i okoline biće jednaka proizvodu koeficijenta inercije i brzine promene temperature sredine. Ako je $\alpha>0$, važiće nejednačina $t-\theta<0$, a ako je $\alpha<0$ važiće nejednačina $t-\theta>0$.

Pošto znamo od čega zavisi koeficijent inercije, možemo da dobijemo termometar odgovarajuće inertnosti na taj način što biramo određenu masu termometra, površinu rezervoara itd. Treba primetiti da termometri sa malom inercijom nisu uvek najpodesniji. Prilikom merenja srednjih vrednosti temperature, termometar koji reaguje na brze promene temperature, neće davati dobre rezultate (sl. 2—II i 3—II).



Slika 2 — II



Slika 3 — II

OSETLJIVOST TERMOMETRA

Osetljivost termometra se definiše promenom na skali koju prouzrokuje određena promena temperature. Ukoliko je veća osetljivost, utoliko je sa većom tačnošću moguće očitavanje po njegovoj skali. To nije isto što i tačnost merenja. I najosetljiviji termometar može biti pogrešno izbaždaren.

Ostljivost termometra određena je dužinom jednog stepena njegove skale (u milimetrima). U opštem obliku se osetljivost termometra može izraziti sledećom formulom:

$$L = CF(t_0)\,\alpha_{t_1 t_2}$$

gde je L — dužina jednog stepena skale; $F(t_0)$ — vrednost fizičke karakteristike čijim se merenjem određuje temperatura; $\alpha_{t_1 t_2}$-temperaturski koeficijenat fizičke karakteristike u intervalu od t_1 do t_2; C — konstanta koja zavisi od konstrukcije termometra.

Primer: Uzmimo da su date granice merenja temperature, donja t_1 i gornja t_2. Dužina termometra nije veća od H mm, tačnost očitavanja τ, data je delom skale ne manjem od n mm. Poznati su koeficijenti širenja stakla β i širenja termometarske tečnosti α. Označimo sa V_t' zapreminu termometarske tečnosti pri temperaturi t°C sa V_t'' — zapreminu rezervoara termometra pri istoj temperaturi.

Označićemo sa t_1 temperaturu pri kojoj termometarska tečnost popunjava samo rezervoar, dok je kapilara prazna. Zbog toga važi veza:

$$V'_{t_1} = V''_{t_1} \qquad (2,13)$$

odnosno:

$$V'_0(1+\alpha t_1) = V''_0(1+\beta t_1) \qquad (2,14$$

Na temperaturi t biće:

$$V'_t = V'_0(1+\alpha t) \qquad (2,15)$$

Pri tom tečnost popunjava rezervoar čija je zapremina pri temperaturi t jednaka:

$$V_t'' = V_0''(1+\beta t) \qquad (2,16)$$

kao i kapilaru do podeoka skale t. Obim toga dela kapilare je $SL(t-t_1)$; S— unutrašnji presek kapilare, L-dužina stepena skale.

Na taj način pri temperaturi t zapremina tečnosti biće:

$$V_t' = V_t'' + SL(t-t_1) \qquad (2,17)$$

Korišćenjem veza (14), (15) i (16), jednačina (17) dobija oblik.

$$\frac{LS(t-t_1)}{1+\beta t_1} = \frac{V''_0}{1+\alpha t_1}(1+\alpha t) - \frac{V_0}{1+\beta t_1}(1+\beta t) \qquad (2,18)$$

Ako uzmemo da važi približno:

$$\frac{1}{1+\alpha t_1} \approx 1-\alpha t_1; \qquad \frac{1}{1+\beta t_1} \approx 1-\beta t_1 \qquad (2,19)$$

biće:

$$L = \frac{V_0''}{S}\left[(\alpha-\beta) - \frac{\alpha^2-\beta^2}{t-t_1}\,tt_1\right] \qquad (2,20)$$

ili, ako zanemarimo članove višeg reda:

$$L = \frac{V_0''}{S}(\alpha-\beta) \qquad (2,21)$$

Iz ove formule se vidi da osetljivost termometra raste sa povećanjem rezervoara termometra i smanjivanjem poprečnog preseka kapilara. Osim toga treba primenjivati tečnost sa velikim a staklo sa malim koeficijentom zapreminskog širenja. Upoređivanjem opšte formule za L i jednačine (2,21) vidimo da je za živin termometar $C = V_0''/S$, $F(t_0) = 1$, a umesto temperaturskog koeficijenta figuriše razlika širenja žive i stakla.

TAČNOST MERENJA TEMPERATURE U METEOROLOGIJI

Na sl. 3—II je prikazana registracija temperature pomoću osetljivog termoelementa izloženog na dva metra od zemlje, zaštićenog od direktnog zračenja i intenzivno apsiriranog. Vidi se, da su u toku 10 minuta nastupile osetne varijacije temperature od nekoliko stepeni.

Razlike u temperaturi na malom odstojanju mogu da budu još veće, naročito za vreme vedre i hladne noći. To nas može navesti na sumnju u potrebu preciznog određivanja temperature vazduha, jer uopšte nije moguće reći koja je od izmerenih temperatura u toku deset minuta sasvim tačna. Jedini izlaz iz te situacije je, da se odredi neka srednja temperatura za taj period. To se postiže tako što se koriste termometri sa većom inercijom, koji ne prate brze promene temperature vazduha.

I pored toga što se (kao što se lepo vidi sa slike), temperatura vazduha vrlo brzo menja u grani. cama od više stepeni, uobičajeno je da se meteorološka merenja vrše sa tačnošću od 0,1°C-

Taj stav se može braniti prvo time što termometri koji se koriste, zbog svoje inertnosti pokazuju neku srednju temperaturu, a zatim i potrebom da se očitavanjem suvog i vlažnog termometra odredi vlažnost vazduha.

Kada su u pitanju merenja temperature tla moguća je veća tačnost određivanja temperature, jer su promene temperature tla daleko sporije od promena temperature vazduha.

Vrste termometara

Sa promenom temperature menjaju se fizičke, geometrijske i druge karakteristike tela. U zavisnosti od toga koja karakteristika tela se koristi za određivanje temperature, termometri se dele na sledeće vrste:

1. Gasni i termometri sa tečnošću, zasnovani su na principu promene zapremine gasa ili tečnosti sa promenom temperature.
2. Deformacioni termometri, zasnovani na principu promene linearnih dimenzija čvrstih tela sa promenom temperature; ili se ta promena kombinuje sa promenom zapremine tečnosti (Burdonova cev).
3. Termometri otpora, zasnovani na promeni električnog otpora provodnika i poluprovodnika sa promenom temperature.

4. Termoelementi, zasnovani na promeni elektromotorne sile termoelementa sa promenom razlike temperature spojeva.

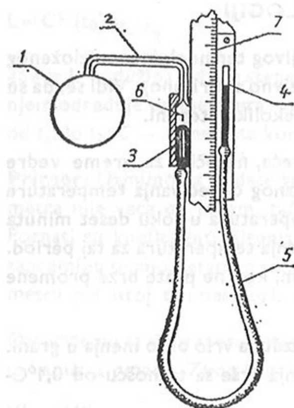
Osim pobrojanih vrsta termometara, za merenje temperature mogu se koristiti i druge fizičke karakteristike. (na primer jačina zračenja itd)..

U meteorologiji se danas primenjuju uglavnom sve gore nabrojane vrste termometara. Jedino gasni termometri imaju isključivo laboratoriski značaj.

GASNI TERMOMETAR

Najpodesniji gas za gasni termometar je vodonik. Dalje je utvrđeno, da je merenje temperature gasa na osnovu promene pritiska, podesnije nego merenje na osnovu promene zapremine, jer se termički koeficijenat pritiska manje menja.

Gasni termometar se sastoji od balona napunjenog suvim gasom spojenim kapilarnom cevi sa živinim manometrom Sl. 4—II. Živin manometar se sastoji od dve cevi povezane gumenim crevom. U cevi na koju je priključen termometar, postoji iznad same žive jedan šiljak, pomoću koga se može precizno dovesti nivo žive na određenu visinu (slično kao kod Fortenovog barometra).



Slika 4 — II

Temperatura se određuje na sledeći način: postavi se balon u smešu leda i vode, tj. dovodi se gas na temperaturu 0°C. Dizanjem slobodnog kraja manometra, dovodi se nivo žive do šiljka. Zapreminu gasa označimo sada sa V_0, pritisak gasa u balonu biće veći od spoljašnjeg za onoliko mm živinog stuba, kolika je razlika nivoa u cevima manometra.

Ako je h_0—razlika nivoa u manometru u mm Hg, Ho — visina živinog stuba u barometru biće pritisak pod kojim se nalazi gas u balonu

$$p_0 = H_0 + h_0 \tag{2,22}$$

Ako sada pomoću gasnog termometra želimo da odredimo temperaturu neke sredine postavićemo balon u tu sredinu i ponovo pomoću manometra odrediti pritisak gasa u balonu. Novi pritisak će biti:

$$p_1 = H_1 + h_1 \tag{2,23}$$

Ovde je neophodno da se izvrše korekcije zbog promene gustine žive sa temperaturom. H_1 i h moraju da budu korigovane vrednosti. Detaljnije o tome biće reči u paragrafu o merenju pritiska.

Na osnovu Gej-Lisakovog zakona imamo:

$$p_1 = p_0 (1 + \alpha t) \tag{2,24}$$

Ako zamenimo vrednost p_0 dobijamo

$$H_1 + h_1 = (H_0 + h_0)(1 + \alpha t) \tag{2,25}$$

iz poslednje jednačine dobijamo lako temperaturu

$$t = \frac{(H_1 - H_0) + (h_1 - h_0)}{(H_0 + h_0)\,\alpha} \tag{2,26}$$

gde je *t*-tražena temperatura; H_0 i H_1 barometarski pritisak: h_0 i h_1 — razlika nivoa u manometru izražena u mm Hg, korigovanim zbog promene gustine žive; α — termički koeficijenat pritiska gasa.

Gornja formula daje samo prvu aproksimaciju temperature. Da bi dobili precizniji rezultat, morali bi smo da uzmemo u obzir i širenje suda i uticaj zapremine kapilare, koja povezuje balon sa manometrom i koja se ne nalazi na istoj temperaturi kao balon.

DEFORMACIONI TERMOMETAR

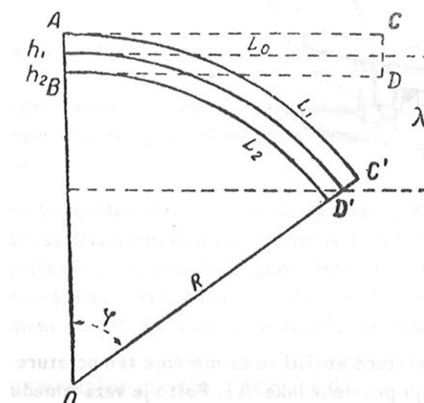
U meteorologiji se najčešće primenjuju dve vrste deformacionih termometara:

1. bimetalni i
2. manometarski

Bimetalni se češće koriste.

Prijemni deo bimetalnog termometra je bimetalna pločica. Ona se sastoji od dve metalne pločice od metala sa različitim koeficijentima linearnog širenja. Pločice su zatopljene. Prilikom promene temperature pločica se savija usled različitog širenja oba metala.

Ako se jedan kraj pločice učvrsti, drugi će se prilikom promene temperature pomeriti. Neka bimetalna pločica (sl. 5—II) na temperaturi od 0°C zauzima položaj ABCD, a pri temperatur



Slika 5 — II

t' položaj ABCD. Liniju spoja savijene pločice smatraćemo za luk kruga sa centrom u tački 0 i radijusom *R*.

Ako je radijus gornje površine ploče jednak $R+h_1$, a donje $R-h_2$, gde su h_1 i h_2 debljine gornjeg i donjeg sloja metala, može se napisati:

$$L_1=(R+h_1)\,\varphi;\quad L_2=(R-h_2)\,\varphi \tag{2,27}$$

gde je L_1 — dužina gornjeg sloja bimetalne plločice; L_2 — dužina donjeg sloja bimetalne pločice na temperaturi t; φ — centralni ugao. Ako oduzmemo jednu jednačinu od druge i rešimo po φ dobijamo:

$$\varphi=\frac{L_1-L_2}{h_1+h_2} \tag{2,28}$$

Pošto je: $L_1=L_0\,(1+\alpha_1\,t)$ i $L_2=L_0\,(1+\alpha_2\,t)$

gde je L_0 — dužina nedeformisane pločice na 0°C, α_1 i α_2 termički koeficijenti linearnog širenja metala gornjeg i donjeg sloja, to dobijamo:

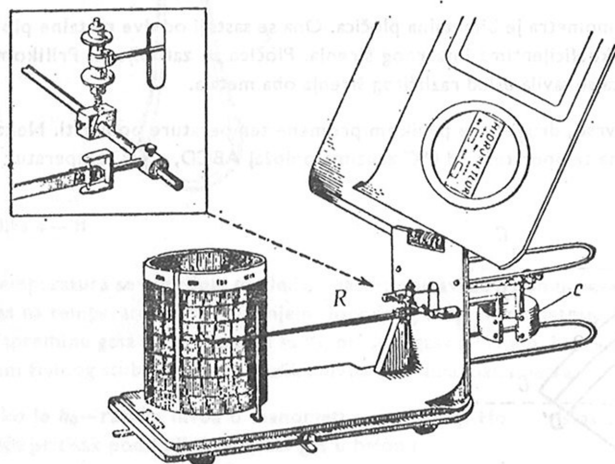
$$\varphi=\frac{L_0\,(\alpha_1-\alpha_2)\,t}{h} \tag{2,29}$$

gde je $h=h_1+h_2$. Vidimo da je temperatura linearna funkcija ugla φ

$$t=\frac{h}{L_0\,(\alpha_1-\alpha_2)}\,\varphi \tag{2,30}$$

jer su L_0, h, α_1 i α_2 konstante.

Na instrumentima pomoću kojih se temperatura meri na ovom principu postavlja se obično bimetalni prsten koji zahvata oko 270° (sl. 6—II). Jedan kraj toga nepotpunog prstena je učvr-

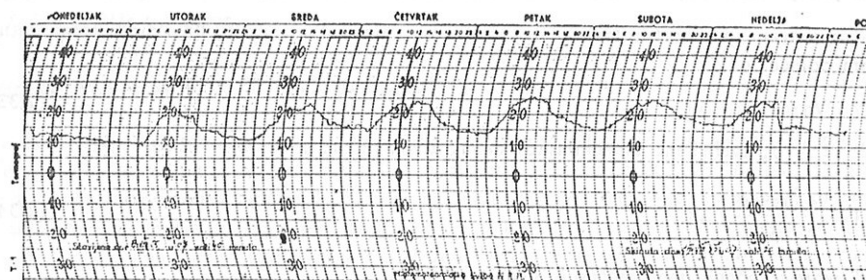


Slika 6 — II

šćen, a kretanje drugog kraja pri promeni temperature koristi se za merenje temperature. Sa slike se vidi da pri promeni ugla φ za $\Delta\varphi$ nastaju promene luka ΔL. Pošto je veza između luka i ugla data sa $\Delta L=R\,\Delta\varphi$ vidi se da postoji linearna veza između promene luka i tempearature:

$$\Delta t=\frac{h}{RL_0\,(\alpha_1-\alpha_2)}\,\Delta L \tag{2,31}$$

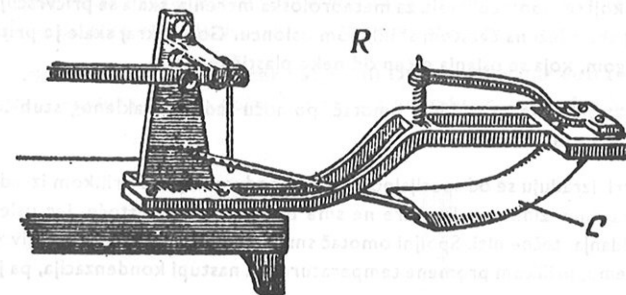
Ta osobina bimetalnog luka iskorišćena je kod termografa (sl. 6—II). To je registrirni instrument za merenje i registrovanje temperature. Kod njega se pomeranje kraja bimetala prenosi preko sistema poluga do jednog pera, koje na linearnoj temperaturskoj skali ubeležava temperaturu vazduha (sl. 7—II).



Slika 7 — II

Tačnost ovih termometara i termografa je manja nego kod živinih termometara, ali se zbog jednostavnosti konstrukcije robustnosti vrlo široko primenjuju. Koeficijent inercije im je oko 600 sek.

Postoje i termografi sa prijemnikom u obliku iskrivljene cevi napunjene nekom tečnošću (sl. 8—II). Pri porastu temperature tečnosti se širi i cev se ispravlja. To ispravljanje i savijanje



Slika 8 — II

cevi prenosi se preko sistema poluga do pera, slično kao kod bimetalnog termografa. Inercija ovih termografa je još veća nego kod bimetalnih. Cev koja se ovde koristi naziva se Burdonova cev.

Novo izrađene bimetalne trake se podvrgavaju procesu veštačkog starenja. To se postiže tako što se trake naizmenično zagrevaju i hlade u čitavom opsegu temperatura koji dolazi u obzir prilikom upotrebe. Pri naglim i intenzivnim promenama temperature dolazi do pojave histerezisa, kao i do opadanja osetljivosti. Pri temperaturama nižim od predviđenih za dati instrument postoji opasnost da dođe do oštećenja bimetalnih ploča.

TERMOMETRI SA TEČNOŠĆU

Ovi termometri se sastoje u osnovi od jednog staklenog rezervoara napunjenog tečnošću, koji se produžuje u jednu kapilarnu cev zatopljenu pri vrhu. Temperaturni koeficijent širenja tečnosti je veći nego za staklo i prilikom zagrevanja nivo tečnosti u kapilari se podiže. Uz kapilaru je pričvršćena jedna skala, pomoću koje se određuje nivo tečnosti u kapilari, a time i

temperatura. Ako sa ΔV obeležimo promenu zapremine žive u rezervoaru, a sa Δl promenu dužine živinog stuba u kapilari, važiće:

$$\Delta V = S \Delta l \qquad (2,32)$$

gde je S površina poprečnog preseka kapilare.

S druge strane, pod pretpostavkom da se zapremina žive i stakla menja linearno sa temperaturom dobićemo:

$$\Delta V = V_0 (\alpha_{ž} - \alpha_s) \Delta t \qquad (2,33)$$

gde su $\alpha_{ž}$ i α_s koeficijenti zapreminskog širenja žive i stakla. Iz (2,32) i (2,33) sledi:

$$\Delta l = \frac{V_0 (\alpha_{ž} - \alpha_s)}{S} \Delta t \qquad (2,34)$$

Pri ovom izvođenju zanemareno je širenje kapilare.

U meteorologiji se koriste termometri različitih konstrukcija, koji se razlikuju po obliku rezervoara, izradi skale itd.

Skala se može naneti neposredno na kapilaru. U tom slučaju se kapilara izrađuje sa vrlo debelim zidovima. Kod većine meteoroloških isntrumenata skala je na posebnoj pločici. Kod takvih termometara kapilara je tanka, postavlja se ispred skale, a obe se nalaze u jednoj široj staklenoj cevi.

Pričvršćivanje skale u termometru je veoma važno, jer se ona ne sme pomerati u odnosu na kapilaru. Kod termometara koji se upotrebljavaju za meteorološka merenja, skala se pričvršćuje na sledeći način. Donji kraj skale leži na čvrstom staklenom osloncu. Gornji kraj skale je pritisnut jednom čvrstom oprugom, koja se oslanja o čep od neke plastične mase.

Moguće je pričvršćivanje i zatapanjem za stakleni omotač pomoću jednog staklenog stubića. Kapilara se pričvršćuje uz skalu tankom žicom.

Svi meteorološki termometri izrađuju se od specijalnog stakla i podvrgavaju se prilikom izrade termičkoj obradi. Na unutrašnjim zidovima kapilare ne sme biti nikakve nečistoće, jer usled toga može da dođe do prekidanja tečne niti. Spoljni omotač sme se zatapati tek posle brižljivog sušenja, jer inače može u njemu, prilikom promene temperature, da nastupi kondenzacija, pa je očitavanje otežano.

TERMOMETARSKE TEČNOSTI

Kao termometarske tečnosti u meteorološkim termometrima najčešće se koriste živa, alkoho, i toluol. Te tečnosti imaju sledeće fizičke osobine:

	živa	alkohol	toluol
tačka topljenja	−38,87°C	−117,3°C	−95,1°C
tačka ključanja	356,9°C	78,5°C	110,5°C
koef. širenja (na 18°)	0,000181	0,00110	0,00109
spec. toplota	0,03	0,58	0,36 kal/grad gr
koef. topl. provod.	0,01997	0,00043	0,00038 kal/cm sec grad

Iz gornje tablice vidimo da živa ima znatno manju specifičnu toplotu i veću toplotnu provodljivost od ostale dve termometarske tečnosti. To je veoma veliko preimućstvo, jer to znači

da se ona brže prilagođava temperaturi sredine. Nedostatak joj je u malom koeficijentu širenja, koji je važan za osetljivost termometra. Slabost žive je i u visokoj tački topljenja, tako da je ona neupotrebljiva za merenje niskih temperatura. Živa u čvrstom stanju ima manju specifičnu zapreminu od tečne, pa ne postoji opasnost od prskanja termometra pri smrzavanju.

Živa se koristi ipak najviše kao termometarska tečnost za temperture iznad −38°C, a ostale tečnosti za niže temperature.

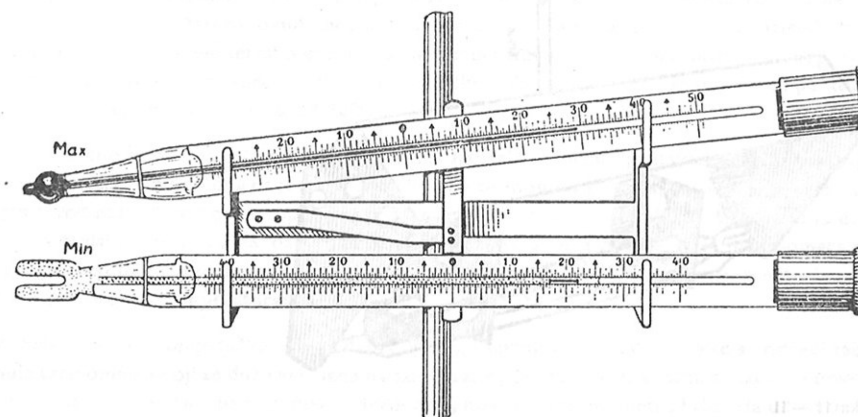
VRSTE TERMOMETARA SA TEČNOŠĆU

a) **Živin stanični termometar** — ovim termometrom se određuje temperatura vazduha. To je živin termometar sa umetnutom skalom od mlečnog stakla. Rezervoar termometra je loptastog oblika veličine 9—12 mm. Presek kapilare je kružan sa spoljnim prečnikom manjim od 2,5 mm. Na skali su naneti podaci na svakih 0,2°, pa je moguće očitavanje sa tačnošću od 0,1°. Brojevi na skali su dati na svakih 5°. Koeficijent inercije staničnih termometara u mirnom vazduhu iznosi oko 300 sec. Termometar se postavlja u meteorološkom zakolonu vertikalno. Stanični termometar je osnovni termometar u meteorologiji.

b) **Alkoholni termometar** — živa se smrzava na temperaturi oko −39°C, pa je za određivanje nižih temperatura neophodno korišćenje neke druge termometarske tečnosti. U tu svrhu se koristi alkohol. Ovaj termometar je građen slično staničnom. Rezervoar ima formu cilindra. Gornja granica skale je od 11 do 21°C, a donja od −7 do −81°C. Koristi se etil alkohol.

Termometar se postavlja vertikalno pored staničnog termometra, koji služi za određivanje temperature vazduha. Osmatranje alkoholnog termometra vrši se uporedo sa osmatranjem živinog termometra, čim se temperatura spusti do −20°. Takva paralelna osmatranja su neophodna da bi se utvrdila popravka zbog predestilacije.

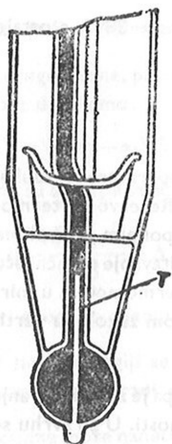
c) **Maksimalni termometar.** (Sl. 9—II) Ovaj termometar služi za određivanje najviše temperature vazduha koja se pojavila u nekom periodu vremena. On je konstruisan tako da se po



Slika 9 — II

dostizanju maksimalne temperature nit žive u blizini rezervoara prekida. U rezervoaru postoji jedna staklena igla koja svojim vrhom ulazi u kapilaru (sl. 10—II). Tako je kapilara pri svom dnu sužena i kada živa počinje da se skuplja usled hlađenja, nit se na tom mestu prekida. Da bi termometar pokazivao stvarnu temperaturu vazduha potrebno ga je stresti.

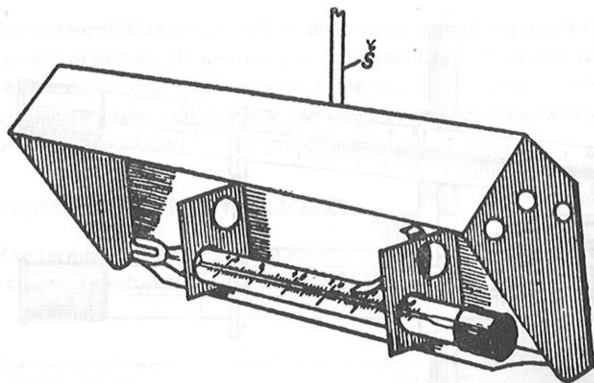
U meteorološkom zaklonu se maksimalni termometar postavlja horizontalno. Pošto je kapilara maksimalnog termometra relativno široka dešava se da živa odklizi dalje od rezervoara. Zato je dobro pri osmatranju malo podići gornji kraj termometra. Posle očitavanja maksimalni termo-



Slika 10 — II

metar treba stresti, da bi bio sposoban, da i u sledećem periodu pokaže maksimalnu temperaturu. Stresanje se izvodi snažnim pokretom i pri tom se ne sme dodirivati rezervoar rukom da ga ne bi zagrejali. Stresanjem se retko može postići da se pokazivanje maksimalnog termometra slaže sa pokazivanjem staničnog termometra. Razlika od 0,2° je dozvoljena.

d) **Minimalni termometar** (sl. 9—II i 11—II). Minimalni termometar ima obično viljuškas rezervoar napunjen neobojenim alkoholom. Osim toga moguće je punjenje toluolom. Rezervo



Slika 11 — II

ar ima složen oblik, da bi se pri istoj zapremini termometarske tečnosti postigla što veća povr šina, a time manja inercija termometra. U kapilari, u samoj tečnosti nalazi se jedan stakleni štapić. Prilikom skupljanja tečnosti, tj. za vreme opadanja temperature, menisk tečnosti povlači taj štapić naniže. Za vreme porasta temperature štapić ostaje na mestu. Zbog toga kraj štapića koji je bliži menisku pokazuje uvek najnižu temperaturu koja vlada u intervalu vremena od poslednjeg čitanja, kada je štapić prinudno doveden do površine meniska. Minimalni termo-

metar mora inače da bude neprekidno u horizontalnom položaju. Nije dozvoljeno tresti minimalni termometar jer inače može stakleni štapić da probije menisk i da izađe iz tečnosti. Minimalni termometri koji su u upotrebi kod nas imaju obično podeoke na svakih 1/2 ili 1/5°C. Donja granica treba da bude barem na —40°C.

Pošto je inercija ovih termometara obično znatno veća od inercije staničnih termometara, pokazivanje ovih termometara može da se razlikuje od psihrometarskih i više od 1°.

Da bi se dobio noćni minimum temperature u neposrednoj blizini zemljine površine, što je od posebnog značaja za poljoprivredu, postavljaju se minimalni termometri i na posebnim malim nosačima na desetak santimetara od zemlje (sl. 11—II).

e) **Meteorološki termometar za aspiracioni psihrometar.** Ovaj termometar se razlikuje od običnog psihrometarskog uglavnom po tome što je manji. On se postavlja u metalni oklop, koji je hromiran da bi manje apsorbovao zračenje i na kome se nalazi satni mehanizam sa ventilatorom za aspiriranje termometra (vlažnog i suvog). Dužina mu je 26 cm. a debljina staklene cevi 8 mm. Rezervoar mu je cilindričnog oblika za razliku od običnog psihrometarskog koji obično ima loptast rezervoar. Koeficijent inercije mu je oko 100 sec za miran vazduh. Termometarska tečnost je živa, a skala je od mlečnog stakla i umetnuta je u cev iza kapilare. Na gornjem kraju termometra, kao i na donjem kraju skale, nalaze se metalni prstenovi koji služe za pričvršćavanje termometra u oklop.

f) **Štap termometar (frondni).** On ustvari predstavlja kapilaru sa debelim zidovima kod koje je jedan kraj proširen i služi kao rezervoar za živu. Na gornjem kraju obično se nalazi staklena ušica koja služi za pričvršćavanje termometra. Njime se osmatra tako što se termometar vezan na kanap okreće nekoliko minuta iznad glave, pa se posle toga očitava temperatura. Podeoci su dati na svaki stepen i osetljivost je mala. Koristi se pri terenskim merenjima.

Greške kod termometara sa tečnošću

Reperne tačke termometra sa tečnošću podložne su promenama u toku vremena. Postoje dve vrste promena položaja osnovnih tačaka. Postepeno i trajno povećavanje razlike između temperature, koju pokazuje termometar i stvarne temperature i privremeno sniženje ili depresija. Ispitivanja su vršena uglavnom sa promenama tačke nule, ali isto važi i za ostale temperature, kao i za gornju osnovnu tačku od 100°C.

1. Postepeno povišenje tačke nule je posledica zaostale deformacije stakla. Pojava se sastoji u tome što se godinu do dve dana posle proizvodnje termometra zapaža, da termometar potopljen u vodu sa ledom koji se topi, pokazuje nešto višu temperaturu od 0°C. Utvrđeno je da ta pojava zavisi od vrste stakla, da je u prvo vreme pojava brza, a da se kasnije nula pomera sve sporije. Takođe je utvrđeno da su promene na termometru koje prouzrokuju povišenje nule, brže pri visokim temperaturama.

2. Privremeno sniženje tačke nule ili depresija nule, sastoji se u sledećem. Ako se odredi tačka nule termometra koji se duže vremena nalazio na istoj temperaturi, a zatim se taj termometar izloži višoj temperaturi pa se ponovo odredi nula, nova nula termometra biće niža od stare. To se tumači na sledeći način. Prilikom zagrevanja termometra širi se ne samo termometarska tečnost (npr. živa) već i stakleni rezervoar. Prilikom hlađenja je slično. Međutim, staklo neće tako brzo kao živa ponovo dobiti ranije dimenzije, već će se skupljati nešto sporije. Usled toga će staklo, iako ima temperaturu od 0°C još neko vreme biti prošireno. Iz toga je jasno da će živa pokazati posle zagrevanja i brzog hlađenja nižu temperaturu od stvarne. Depresija nule zavisi od iznosa temperature do koje je termometar zagrejan, od vremena zagrevanja i od vrste stakla. Maksimalna veličina depresije za termometre od termometarskog stakla pri zagrevanju od 100° iznosi 0,1°. Depresija nule iščezava relativno sporo. Ona se smanjuje na polovinu tek posle

nekoliko časova. Na taj način temperatura koju termometar pokazuje zavisi i od njegove predistorije. Za vrlo tačna merenja temperature (ispod 0,1°) potrebno je uzeti u obzir i depresiju nule. Osim napred navedenih promena koje nastupaju na repernim tačkama termometra, postoje i drugi izvori netačnosti pokazivanja termometra.

a) **Neravnomernost kapilare**:

Kapilare se izrađuju serijski i nikada nije moguće izrada sa takvom preciznošću da unutrašnji presek kapilare bude jednak duž čitave kapilare. Usled toga promena temperature od 1°C neće na temperaturi 10°C, dati isto izduženje stuba žive kao na temperaturi 30°C. Ta greška bi se mogla kompenzovati neravnomernom skalom, ali kako se i skale rade serijski ta greška ostaje.

b) **Temperatura živinog konca**:

Ova greška dolazi naročito do izražaja kod merenja temperature tla, pri čemu se rezervoar nalazi na izvesnoj dubini pod zemljom, a skala iznad zemljine površine.

c) **Mrtvi hod**:

Ova greška nastupa usled dejstva površinskog napona tečnosti u kapilari. Površinski napon ometa kretanje tečnosti kroz kapilaru prilikom promene temperature. Greška se može otkloniti ako se termometar lako kucne noktom. Posle toga lakog potresa tečnost će zauzeti odgovarajući nivo.

d) **Paralaksa**:

Ovo je ustvari greška koju čini osmatrač. Ona je posledica udaljenosti skale od kapilare, pa ako osmatrač ne gleda normalno na ravan skale, nivo žive se neće projektovati na odgovarajući podeok.

e) **Predestilacija**:

Ova greška je naročito aktuelna za termometre punjene alkoholom. Sastoji se u tome što termometarska tečnost isparava, a zatim se kondenzuje u gornjem delu kapilare. Jasno je da posle toga termometar mora pokazati manju temperaturu. Zbog toga je za minimalne termometre, koji su punjeni alkoholom, štetno da budu izloženi visokim temperaturama.

f) **Kidanje konca žive u kapilari**:

Ako se termometar okrene rezervoarom na gore može da dođe do prekidanja konca žive u kapilari. Kada se termometar ponovo vrati u normalan položaj, konac ne mora da se vrati u svoj raniji položaj, pa će njegov gornji kraj pokazivati temperaturu višu od stvarne. Greška očevidno, može da iznosi i više stepeni. Do kidanja može doći i bez prevrtanja termometra prosto usled otpora kretanju žive kroz kapilaru.

g) **Spoljašni pritisak**:

Pošto su rezervoar i kapilara zatvoreni, pritisak u njima nije isti kao izvan njih. Usled toga atmosferski pritisak deformiše rezervoar i time utiče na pokazivanje termometra. Taj uticaj nije veliki i uzima se u obzir samo pri očitavanju temperature sa tačnošću od 0,01°.

h) **Unutrašnji hidrostatički pritisak**:

Ako termometar stoji u vertikalnom položaju pritisak na zidove rezervoara biće srazmeran visini stuba tečnosti u kapilari. Ako uzmemo u obzir veliku gustinu žive, videćemo da taj pritisak nije mali, i kod staničnih termometara (psihrometarskih) može da iznese do 0,3 atmosfere. Takav pritisak može u izvesnoj meri da deformiše rezervoar i da utiče na tačnost merenja. Sve napred navedene greške (izuzev kidanja konca) retko prevazilaze 0,1°. Međutim nije isključena mogućnost, da više grešaka deluju jednovremeno u istom smislu i da se njihova dejstva sabiraju. Zbog toga je potrebno prilikom osmatranja voditi računa, da se njihov uticaj svede na minimum.

TERMOMETRI ZASNOVANI NA PROMENI ELEKTRIČNOG OTPORA

Termometri zasnovani na promeni električnog otpora mogu biti od provodnika i poluprovodnika. Otpor provodnika raste sa temperaturom dok otpor poluprovodnika opada sa porastom temperature.

Za metale ta zavisnost prikazana je formulom:

$$R_t = R_0 (1 + \alpha t + \beta t^2) \qquad (2,35)$$

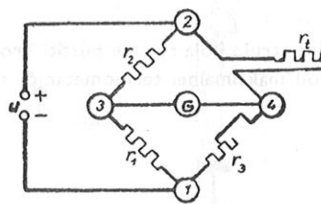
gde je R_t — otpor pri temperaturi t, R_0 — otpor pri temperaturi 0°, α, i β su konstante.

Za male dijapazone promene temperature može se sa dovoljnom tačnošću uzeti:

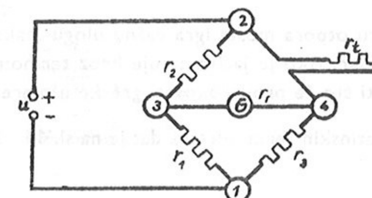
gde je α — temperaturski koeficijent otpora.

$$R_t = R_0 (1 + \alpha t) \qquad (2,36)$$

Pošto se merenje temperature pomoću ovih termometara svodi na merenje otpora, to se tačnost merenja temperature određuje tačnošću merenja otpora. Zbog toga se merenje temperature izvodi najčešće pomoću Vitstonovog mosta jer je on najpodesniji za precizno određivanje otpora. Obično kao termometar služi krak mosta r_t (sl. 12—II i 13—II), ostali krakovi izrađuju



Slika 12 — II



Slika 13 — II

se od konstantana ili manganina, čiji su temperaturski koeficijenti mali. Zbog toga se može smatrati da ostali otpori ne zavise od temperature. Treba spomenuti da korišćenje konstantana nije sasvim podesno, jer postoji mogućnost obrazovanja termoelemenata, ukoliko spojevi konstantana sa drugim metalima imaju različite temperature.

Kada se most nalazi u ravnotežnom stanju, razlika potencijala tačaka 3 i 4 (sl. 12—II jednaka je 0 (nuli) i ne postoji struja kroz galvanometar *G*. To će biti u slučaju kada je

$$u\, r_2 : r_1 = u\, r_t : r_3 \qquad (2,37)$$

ili

$$\frac{r_2}{r_1} = \frac{r_t}{r_3}; \quad r_t = r_3 \frac{r_2}{r_1} \qquad (2,38)$$

Pošto se otpor menja sa promenom temperature, potrebna je mogućnost menjanja jednog od otpora nezavisno od promene temperature da bi se uspostavila ravnoteža u mostu.

Temperatura se određuje na osnovu jednačine (2,36) i pošto je:

$$r_t = r_0 (1 + \alpha t)$$

dobijamo:

$$t = a\, r_3 + b \qquad (2,39)$$

gde su *a* i *b* konstante:

$$a = \frac{r_2}{r_1 r_0 \alpha} \qquad b = -\frac{1}{\alpha} \qquad (2,40)$$

Skala otpora r_3 je graduisana u stepenima. Pošto je zavisnost (2,39) linearna skala je ravnomerna.

Termometar otpora r_t može biti na znatnom odstojanju od ostalih otpora i spojen sa tačkom 2 i 4 pomoću dugačkog provodnika. Taj provodnik postaje na taj način deo termometra jer njegov otpor utiče na tačnost određivanja temperature. Zbog toga je potrebno da taj provodnik ima što manji otpor.

Termometar sa električnim otporom može se dobiti i primenom šeme neuravnoteženog mosta (sl. 13—II). U tom slučaju temperatura se određuje po jačini struje koju pokazuje galvanometar postavljen na dijagonali mosta.

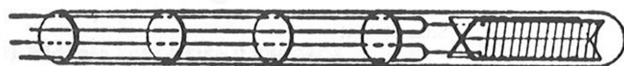
U slučaju kada napon „*u*" ostaje konstantan pri svim promenama otpora r_t, jačina struje kroz galvanometar data je izrazom:

$$I_G = \frac{U_{34}}{R' + R} \qquad (2,41)$$

gde je U_{34} — napon između tačaka 3 i 4, ako je galvanometar isključen; R — otpor galvanometra; R' — otpor mosta pri isključenom galvanometru i kratko spojenom (premošćen) izvoru.

Pri izboru otpora mosta igra važnu ulogu maksimalna jačina struje koja se sme pustiti kroz termometar. Ako je jačina struje kroz termometar veća od maksimalne, termometar će se pregrejati što će prouzrokovati greške u merenju.

Izgled platinskih termometara dat je na sl. 14—II i 15—II.



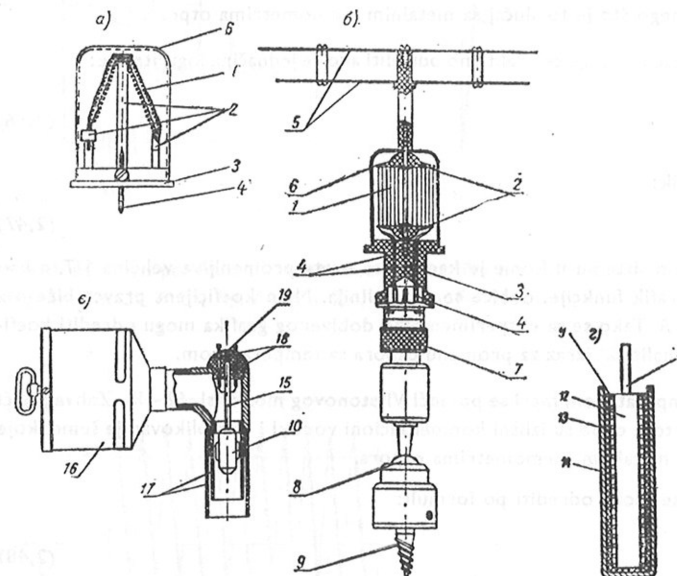
Slika 14 — II

MERENJE TEMPERATURE POLUPROVODNICIMA (TERMISTORIMA)

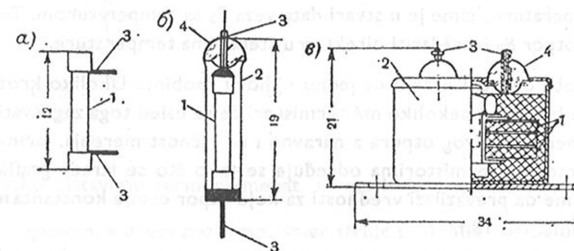
Kod pojedinih vrsta poluprovodnika postoji vrlo izražena zavisnost električnog otpora od temperature. Poluprovodnici su inače vrlo široka klasa čvrstih tela, koji se po svojim osobinama električne provodljivosti nalaze negde između metala i dijalektrika. Zato se i njihova električna provodljivost menja u vrlo širokim granicama. Postoje poluprovodnici kod kojih električna provodljivost praktično ne zavisi od temperature i drugi kod kojih se provodljivost menja sa temperaturom znatno više nego kod metala. Za ovu vrstu poluprovodnika uobičajen je naziv termistori (sl. 16—II).

Kod većine termistora električni otpor opada sa porastom temperature. To znači da je temperaturni koeficijent otpora negativan ($\alpha < 0$). Osim toga on nije konstantan (što obično sa dovoljnom tačnošću važi za metale), već je obrnuto srazmeran kvadratu apsolutne temperature.

$$\alpha = \frac{-b}{T^2} \qquad (2,42)$$



Slika 15 — II



Slika 16 — II

gde je *b* konstanta datog termistora. Kada se uzme u obzir da je:

$$\alpha = \frac{1}{R}\frac{dR}{dt} \qquad (2,43)$$

tj. α je relativna promena otpora po jedinici temperature, može se jednačina

$$\frac{1}{R}\frac{dR}{dt} = -\frac{b}{T^2} \qquad (2,44)$$

integrisati ($dt = dT$), pa se dobija:

$$R = A e^{\frac{b}{T}} \qquad (2,45)$$

gde je R — otpor, A i b koeficijenti, T — apsolutna temperatura. Koeficjent α je za termistore često i za dva reda veličine veći nego kod metala i iznosi do 10^{-1} grad.$^{-1}$

Zahvaljujući tako velikom temperaturnom koeficijentu otpora termistori se mogu upotrebiti za vrlo precizna merenja, jer se već pri promeni temperature od 0,01°C otpor menja za nekoliko oma. Drugo, možda još važnije, preimućstvo je u tome što se pri tako velikim promenama otpora termistora mogu zanemariti promene otpora vodova, pa se merenja mogu vršiti na većem odstojanju nego što je to slučaj sa metalnim termometrima otpora.

Koeficijent A i b iz jednačine mogu se praktično odrediti ako se jednačina logaritmuje:

$$\ln R = \ln A + \frac{b}{T} \qquad (2,46)$$

tj. dobije linearan oblik:

$$y = mx + n \qquad (2,47)$$

Ako se u koordinatnom sistemu u kome je kao apcisa uzeta promenljiva veličina $1/T$, a kao ordinata $\ln R$, ucrta grafik funkcije, dobiće se prava linija. Njen koeficijent pravca biće b a otsečak na ordinati $\ln A$. Tako se sa eksperimentalno dobivenog grafika mogu odrediti koeficijenti A i b, a time i analitički izraz za promenu otpora sa temperaturom.

Promena otpora sa temperaturom meri se pomoći Vitstonovog mosta (sl. 12—II). Zahvaljujući velikom otporu termistora ovde su izlišni kompenzacioni vodovi i komplikovanije šeme, koje se koriste pri radu sa metalnim termometrima otpora.

Otpor termistora R_t se može odrediti po formuli:

$$R_t = R_3 \frac{R_2}{R_1} \qquad (2,48)$$

koja važi ako kroz galvanometar ne protiče struja. Ovde su R_1 i R_2 stalni a R_3 promenljivi otpor. Iz jednačine se vidi da je R_t jednoznačno određeno pomoću R_3. U praksi se postupa tako što se izradi grafik zavisnosti R_t od temperature, čime je u stvari data veza R_3 sa temperaturom. To znači da je moguće i promenljivi otpor R_3 izbaždariti direktno u stepenima temperature.

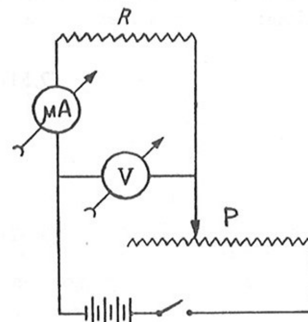
Prilikom rada sa termistorima treba obratiti pažnju na jednu njihovu osobinu. Ukoliko kroz termistor propustimo struju veće jačine od nekoliko *mA* termistori će se usled toga zagrevati (primetno) što će uticati na promenu njihovog otpora a naravno i na tačnost merenja. Jačina struje koja se sme koristiti pri radu sa termistorima određuje se tako što se izradi grafik (I, V). Struja pri eksploataciji ne sme da prevazilazi vrednosti za koje otpor ostaje konstantan pri konstantnoj temperaturi okoline. (sl. 18.).

Da bi se dobile male struje iz akumulatora ili suve baterije treba koristiti šemu datu na sl. 17—II Pomoću otpora P se postiže veliki ukupni otpor kola, tako da se dobijaju male struje kroz termistor.

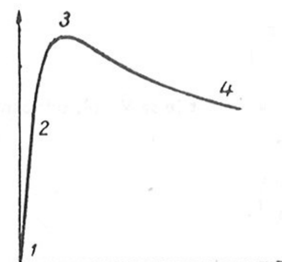
Kao što je već rečeno struje jače od određene jačine zagrevaju termistor i menjaju otpor. Zato se za merenje temperature pomoću termistora mogu koristiti samo struje pri kojima uz stalnu spoljnu temperaturu ostaje otpor termistora stalan. Menjanjem otpora na potenciometru P menja se napon na krajevima voltmetra, a ako je otpor mikroampermetra dovoljno mali te je istovremeno i napon na krajevima termistora. Parovi vrednosti napona i jačine struje očitani sa voltmetra i sa mikroampermetra unose se u grafik (sl. 18—II).

TERMOELEKTRIČNI TERMOMETRI

Ako spojimo dva različita provodnika u zatvoren lanac i držimo njihove spojeve na različitim temperaturama, u kolu će se pojaviti električna struja.

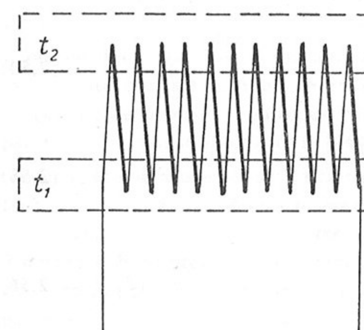


Slika 17 — II



Slika 18 — II

Metali se mogu poređati u sledeći termoelektrični niz: Bi, Co, Ni, K, Pd, Na, Hg, Pt, C, Al, Mg, Sn, Pb, Cs, Rn, I, Ag, An, Cu, Zn, Cd, Mo, Fe, Sb, Si.



Slika 19 — II

Ako sastavimo termoelemenat od ma koja dva gore navedena metala, prvi od njih će biti negativan, a drugi pozitivan. Smer struje se dobija tako, što na hladnijem spoju struja teče od pozitivnog prema negativnom provodniku. Ukoliko su dva provodnika dalje jedan od drugog u gore navedenom redu, utoliko će termoelemenat sastavljen od njih imati veću elektromotornu silu.

Zavisnost elektromotorne sile od temperature data je sledećom formulom:

$$E = \varepsilon (t_1 - t_2) + \gamma (t_2^2 + t_1^2) \qquad (2,49)$$

gde su ε i γ — konstante za dati par provodnika.

Pošto je $\varepsilon_2 \gg \gamma$, to se čak i pri razlikama temperatura reda veličine 10^2 može uzeti:

$$E = \varepsilon (t_1 - t_2) \qquad (2,50)$$

Na osnovu jednačine (2,50) može se odrediti ε kao *EMS* koja nastaje pri razlici temperature spojeva od 1°. Red veličine *EMS* termoelemenata je oko 5×10^{-5} V/grad.

Jačina struje koja nastaje u zatvorenom kolu, koje se sastoji od termopara sa otporom r i otporom galvanometra R, pri razlici temperatura 1°, data je formulom:

$$I=\frac{\varepsilon}{R+r}=\frac{\varepsilon}{R\left(1+\frac{r}{R}\right)} \quad (2,51)$$

Napon u spoljnjem kolu dat je sa $V=IR$, odnosno:

$$V=\frac{\varepsilon R}{R+r}=\frac{\varepsilon}{\left(1+\frac{r}{R}\right)} \quad (2,52)$$

a snaga je jednaka:

$$P=\frac{\varepsilon^2}{R\left(1+\frac{r}{R}\right)^2} \quad (2,53)$$

U cilju povećanja osetljivosti termoelemenata na promenu temperature obrazuje se lanac od nekoliko uzastopno vezanih termoparova.

U tom slučaju izrazi (51), (52), (53) dobijaju oblike:

$$I_n=\frac{n\varepsilon}{R\left(1+\frac{nr}{R}\right)} \quad (2,54)$$

$$V_n=\frac{n\varepsilon}{1+\frac{nr}{R}} \quad (2,55)$$

$$P_n=\frac{n^2\varepsilon^2}{R\left(1+\frac{nr}{R}\right)^2} \quad (2,56)$$

Iz jednačina (54), (55), (56), vidi se da se osetljivost termoelektrične baterije ne može neograničeno povećavati. Granične vrednosti za I_n, V_n, P_n date su izrazima:

$$\lim_{n\to\infty} I_n=\frac{\varepsilon}{r}; \quad \lim_{n\to\infty} V_n=\frac{\varepsilon R}{r}; \quad \lim_{n\to\infty} P_n=\frac{\varepsilon^2 R}{r^2} \quad (2,57)$$

Da bi povećali osetljivost termoelektrične baterije potrebno je da bude $R \gg r$. Ako hoćemo na primer da povećamo osetljivost za N puta tj. $I_n/I=N$, dobićemo na osnovu (51) i (54):

$$N=\frac{n(R+r)}{R+nr} \quad (2,58)$$

Ako to rešimo po n, dobićemo potreban broj termoparova vezanih u nizu.

$$n=\frac{NR}{R+r-Nr} \quad (2,59)$$

Treba imati u vidu da je N ograničeno. Iz jednačine (51) i granične vrednosti za (54) sledi da je

$$N<\frac{R+r}{r}$$

Relativno povećanje jačine struje termobaterije koje nastupa sa dodavanjem novog termoelementa može se izračunati iz jednačine (54) i dato je izrazom:

$$\frac{\frac{dI_n}{dn}}{I_n}=\frac{1}{n\left(1+n\frac{r}{R}\right)} \quad (2,60)$$

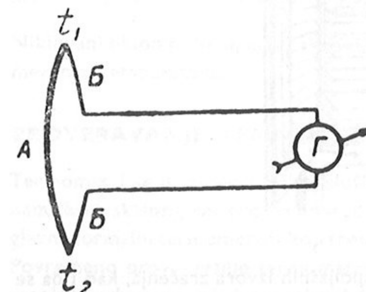
Na taj način ako znamo otpor jednog termoelementa r i spoljnjeg kola R, možemo odrediti optimalni broj termoparova. U meteorologiji se termoelektrični termometri primenjuju za merenje temperature vazduha, tla i vode. U tom slučaju potrebno je meriti i temperaturu „hladnog" spoja pomoću nekog pomoćnog termometra. Termoelementi se takođe primenjuju za merenje gradijenata.

Prilikom merenja gradijenata su termoelektrični termometri nezamenljivi u pogledu jednostavnosti konstrukcije. Termoelektrični termometri se koriste i za merenje pulzacija temperatura. U tom slučaju prave se dva spoja. Jedan od vrlo tankih žica, dok se drugi spaja sa nekom većom masom. Drugi spoj povezan sa masivnim telom ima veći koeficijent inercije i ne reaguje na poluzacije temperature već pokazuje srednju temperaturu sredine.

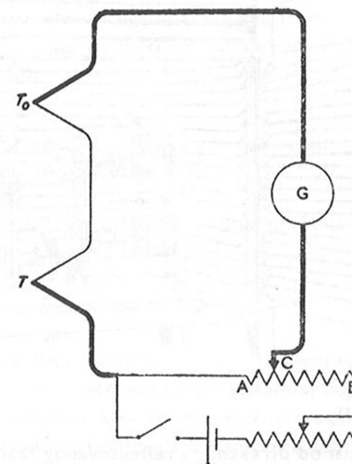
Postoje dva glavna metoda merenja elektromotorne sile termoelemenata. Prvi se sastoji u merenju struje koju daje termoelemenat pomoću osetljivog galvanometra, a drugi se sastoji u kompenzovanju elektromotorne sile poznatom *EMS* tako da kroz termoelemenat ne protiče struja.

U prvom slučaju (sl. 20—II) galvanometar se vezuje na red sa termoelementom i na taj način meri struju koju daje termoelemenat. Treba obratiti pažnju na to da ukoliko od termoelementa do galvanometra imamo vodove od različitog metala, moraju spojevi vodova biti na istoj temperaturi. U protivnom stvoriće se još jedan termoelemenat, koji će uticati na tačnost merenja. Promena temperature vodova utiče na njihov otpor, a time i na jačinu struje kroz kolo. Zbog toga je korisno, da galvanometar ima veći otpor od ostalog dela kola. Drugim rečima, galvanometar treba koristiti kao voltmetar. Iz jednačine (2,52) se vidi, da ako je otpor galvanometra R mnogo veći od otpora termoelemenata r, biće napon na klemama voltmetra V jednak elektromotornoj sili. Prema tome za merenje elektromotorne sile termoelemenata treba otpor galvanometra da bude što veći.

Princip potenciometra prikazan je na sl. 21—II. Otpor AB je vezan na red sa baterijom, prekidačem i jednim promenljivim otporom. U otporu AB postoji ravnomeran pad napona od A do B. Pad napona od A do C treba da kompenzuje *EMS* termoelemenata.



Slika 20 — II

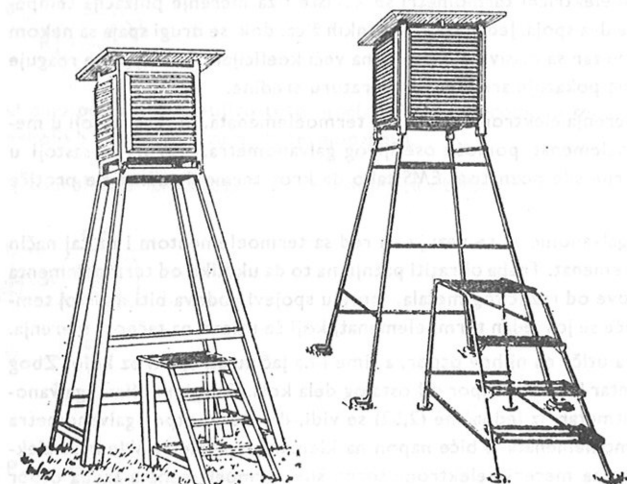


Slika 21 — II

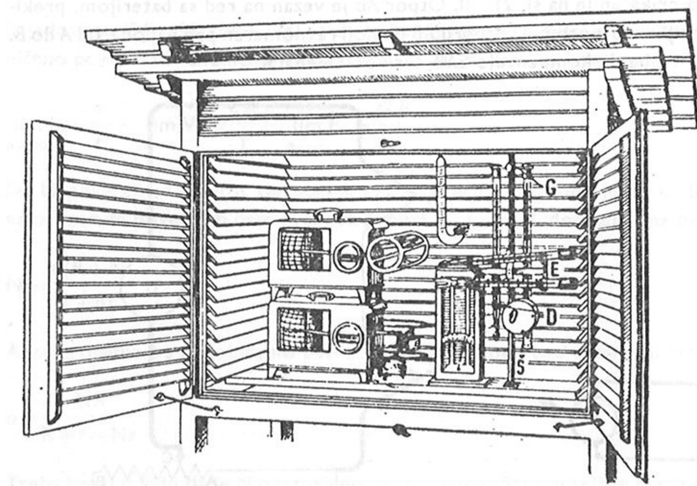
METEOROLOŠKI ZAKLON

Ukoliko želimo da izmerimo stvarnu temperaturu vazduha, moramo termometar zaštititi od uticaja zračenja. Naime, vazduh propušta direktno sunčevo zračenje, a zagreva se uglavnom od tla. Zbog toga, termometar izložen sunčevom zračenju, neće pokazivati temperaturu vazduha, već će se zagrevati do neke više temperature. Razlika između temperature vazduha i temperature koju je termometar na taj način primio, zavisiće od materijala od kojeg se sastoji prijemni deo termometra, od veličine i kvaliteta površine, od sastava zračenja, od brzine proticanja vazduha i drugih faktora. Ako se za merenje temperature koriste tanke žice kojima se menja električni otpor sa promenom temperature, uticaj zračenja može da bude znatno manji nego kod običnih živinih termometara, kod kojih razlika između temperature termometra i temperature vazduha može da iznosi i više od deset stepeni.

Zbog svega toga grade se termometarski zakloni (sl. 22—II i 23—II), koji služe za to da se termometar zaštititi od direktnog i reflektovanog zračenja, od spoljašnjih izvora zračenja, kao i da se zaštiti od padavina ili slučajnog oštećenja, a da se obezbedi dobra cirkulacija vazduha oko njega.



Slika 22 — II



Slika 23 — II

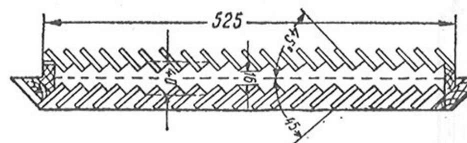
Uslovi koje treba da ispunjava idealan termometarski zaklon su sledeći:

1. U čitavom zaklonu treba da vlada jednaka temperatura;
2. Temperatura unutrašnjih zidova zaklona treba da bude jednaka temperaturi spoljašnjeg vazduha;
3. Zaklon treba da sa svih strana obuhvata termometar;
4. Zaklon ne sme da propušta zračenje;

Najteže je ostvariti uslove 1. i 2. Oni se ostvaruju tako, što se zakloni grade sa dvostrukim zidovima i što se boje u belo, ili ukoliko su metalni, poliraju. Na taj način se postiže maksimalno reflektovanje zračenja i minimalno zagrevanje usled zračenja. Osim toga, zaklon se mora konstruisati tako, da omogućava što bolju cirkulaciju vazduha. Tako, ako se spoljašnji zid i jako zagreje, vazdušni sloj između zidova redukovaće količinu toplote prenetu u unutrašnjost zaklona. Ako je uz to i cirkulacija dobra, vazduh između zidova će se neprekidno menjati, pa će uticaj zračenja biti još više smanjen.

Pri slaboj cirkulaciji vazduha kroz zaklon, odnosno pri mirnom vremenu ako nema veštačkog aspiriranja, greška usled zračenja može i u zaklonu da iznosi oko 1°C.

Na našim meteorološkim stanicama se merenje temperature vrši u drvenim zaklonima čija se konstrukcija vidi na sl. 22—II i 23—II. To je drvena kućica postavljena na nosačima visine 2 m. Stepenice na koje se osmatrač penje prilikom osmatranja nisu pričvršćene uz nosače da ne bi dolazilo do potresanja instrumenata u zaklonu. Zidovi kućice su od dva niza letvica pod uglom od 90° da bi se onemogućio direktan uticaj zračenja, a da bi ipak vazduh mogao slobodno da struji (sl. 24—II). Pod i tavanica su sastavljeni od razmaknutih dasaka iz istog razloga. Iznad tavanice postoji krov zaklona. Zakloni se boje belom bojom i to masnom.



Slika 24 — II

Osim ovih staničnih termometarskih zaklona postoje i drugi za specijalna merenja. Npr. na meteorološkim stubovima na kojima se vrši merenje i registracija temperature električnim putem, mogu da se koriste štitovi prikazani na slici 15—II. Oni su podesni zbog mogućnosti dobre aspiracije i svojih malih dimenzija.

Pri merenjima na terenu kao dobri zakloni mogu da se upotrebe čak i fišeci od obične bele hartije. Naravno pod uslovom da u toku merenja ne pada kiša.

Niklovani oklop psihrometra takođe predstavlja zaklon koji smanjuje uticaj zračenja na tačnost merenja temperature.

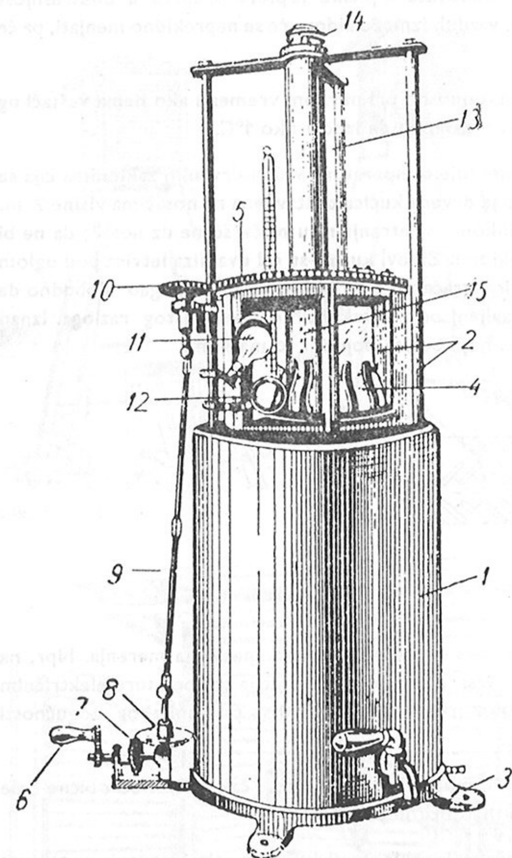
PROVERAVANJE TERMOMETARA

Termometri se u meteorološkoj službi ne proveravaju direktnim upoređivanjem sa termodinamičkom skalom, već prosto upoređivanjem sa jednim termometrom etalonom koji se naziva glavni normalni termometar i koji treba da bude istog tipa kao i termometri koji se proveravaju. Povremeno proveravanje termometara je neophodno usled toga što se oni u toku vremena menjaju uglavnom usled zaostalih deformacija stakla.

Proveravanje termometra počinje proveravanjem tačke nule. Kada bi proveravanje počinjalo pozitivnim temperaturama, došlo bi do pojave depresije nule. Pre nego što se počne proveravanje termometri treba da stoje oko 20 dana na sobnoj temperaturi. Toliko je otprilike potrebno da se eliminiše uticaj predistorije termometra na njegovo pokazivanje, pa se tako postiže da svi termometri dolaze na kontrolu sa jednakom predistorijom.

Tačka nule se kontroliše tako što se termometri stave u sud sa sitno tucanim ledom tako da pod ledom bude i deo skale oko nule. Posle pola časa vrši se očitavanje termometra. Pažljivo se očisti led sa skale i očita se temperatura pomoću lupe. To se ponavlja tri puta i na osnovu tih merenja izračuna se srednja popravka na nula stepeni.

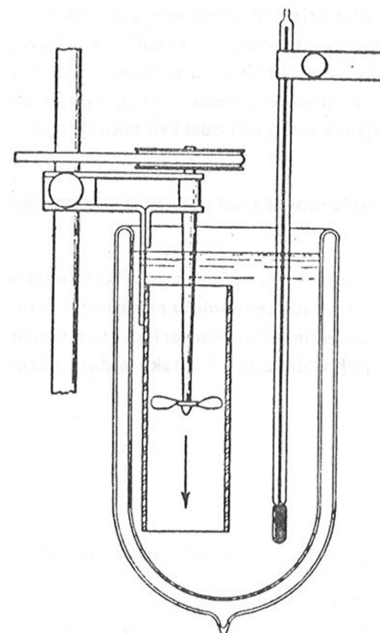
Na pozitivnim temperaturama se proveravanje vrši u posebnom sudu (termometarsko kupatilo), (sl. 25—II i 26—II) sa vodom čija temperatura po potrebi može da se menja. Voda se može



Slika 25 — II

zagrevati električnim putem, a hlađenje se izvodi pomoću čvrstog ugljendioksida. Gornji deo suda je pokretan i na njega se pričvršćuju termometri tako da se mogu obrtati i dovoditi pred stakleni prozor kroz koji se vrši očitavanje. Voda u sudu se meša pomoću jedne mešalice tako da u čitavom sudu bude ravnomerna temperatura. Očitavanje se vrši pomoću lupe. Pošto se uključi grejanje za postepeno povišenje temperature, počinje se sa očitavanjem na temperaturi za oko 0,2° ispod one na kojoj se vrši proveravanje (npr. 20°). Očitavanje se vrši sa tačnošću od

stotih delova stepena. Najpre se temperatura očitava na normalnom (kontrolnom) termometru, pa se onda obrtanjem dovode i ostali termometri pred prozor na kupatilu i očitava se temperatura koju oni pokazuju. To se zatim ponovi tako što se stalak sa termometrima obrće u suprotnom pravcu. Time se izbegava sistematska greška koja bi nastala usled toga što se neki termometri očitavaju neposredno posle normalnog, a ostali kasnije, kada se temperatura vode već unekoliko promenila. Pokazivanje termometra se kontroliše na svakih deset stepeni.



Slika 26 — II

Proveravanje termometra na negativnim temperaturama može se vršiti tako što se umesto vode koristi alkohol. U novije vreme sve se više koriste tzv. klima komore u kojima se može temperatura regulisati električnim putem.

Kod maksimalnih termometara se vrši i kontrola sposobnosti da zadrže pokazivanje maksimalne temperature. Kod minimalnih se kontroliše i da li ne dolazi do probijanja opne tečnosti od šipčice koja pokazuje minimalnu temperaturu.

Lista baždarenja koja se tako dobija, neophodna je za tačnije merenje temperature, jer se pomoću nje može izvršiti korekcija očitane temperature.

MERENJE TEMPERATURE TLA I VODE

a) Temperatura površine tla.

Poznato je da se vazduh zagreva pretežno od podloge. Zbog toga je za temperaturu vazduha od presudne važnosti toplotno stanje tla, od koga zavisi količina toplote koja se može predati vazduhu. Jedan od osnovnih elemenata koji diktira tempo i intenzitet te razmene toplote je raspodela temperature u tlu. Osim raspodele temperature važan je i toplotni kapacitet, provodljivost tla, struktura i boja tla.

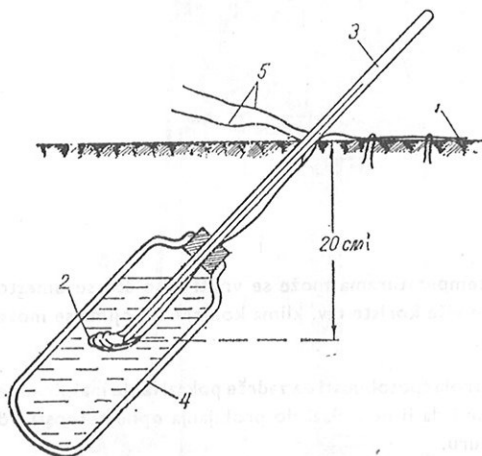
Pošto površina tla nije homogena, moguće su znatne razlike u temperaturi na malim odstojanjima. Zbog toga je teško definisati pojam temperature površine tla.

Na stanicama se obično za merenje temperature površine upotrebljavaju termometri sa tečnošću. To dovodi do grešaka prouzrokovanih time što rezervoar termometra mora da leži na površini otkriven, jer ako bismo zaklonili termometar, promenili bi smo uslove zagrevanja i hlađenja tla. Međutim, ako je termometar otkriven, on će drugačije apsorbovati zračenje nego okolna površina tla, što naročito jako dolazi do izražaja prilikom direktne insolacije.

Tako je utvrđeno da termometri različitih konstrukcija, pod istim uslovima, mogu da pokazuju razlike u temperaturi tla i do 5°C. Pošto nije bilo moguće na zadovoljavajući način rešiti ovaj problem, usvojeno je da se temperatura površine meri na meteorološkim stanicama živinim termometrima. Termometri se postavljaju tako da im je polovina rezervoara u tlu, a polovina iznad površine. Teren mora biti očišćen od trave i preriljan, a mora biti odabran tako da senke nekog obližnjeg drveta ili zgrade ne padaju na njega.

Zbog nesavršenosti ovog načina merenja vrše se ispitivanja mogućnosti poboljšanja metodike merenja temperature tla.

Električna merenja se ovde sama nameću zbog velikih preimućstava koja donose. Termometri otpora koji se koriste za merenje temperature površine tla, grade se u obliku rama sa zategnutom žicom koja se polaže na tlo. U termometrima sa termoelementima kao prijemni elemenat služi baterija termoparova (sl. 20—II), kod koje se jedni spojevi dovode u kontakt sa tlom a drugi se drže unutar nekog termostata (sl. 27—II).



Slika 27 — II

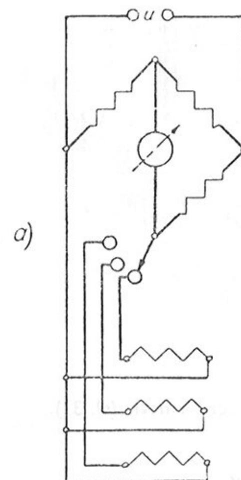
Upoređivanja merenja pomoću živinog termometra i termoelemenata pokazuju da živin termometar daje redovno više temperature, a ta razlika pri sunčanom vremenu iznosi i do 5°C.

Električni termometri se mogu koristiti i za registrovanje temperature. Kod termoelemenata se u tom slučaju umesto galvanometra koristi galvanograf. Termometar koji je prikazan na sl. 27—II i kojim se meri temperatura „hladnog" spoja može se koristiti i u tom slučaju. Pošto se hladni spoj nalazi u termostatu temperatura mu se sporo menja tako da je dovoljno vršiti tri očitavanja dnevno. Temperatura tla se u tom slučaju određuje iz podataka galvanografa po sledećoj formuli:

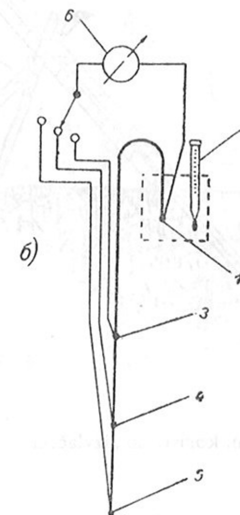
$T = T_0 + \gamma n$

gde je T temperatura površine, T_0 temperatura „hladnog" spoja, γ je broj stepeni Celzijusovih koji odgovara jednom podeoku na traci galvanografa i n je broj podeoka na traci.

Prednost električnog merenja je i u tome što se baterijom termospojeva može određivati srednja temperatura površine. Tako se u mnogome eliminišu slučajni uticaji vezani za nehomogenost površine (sl. 28—II 29—II).



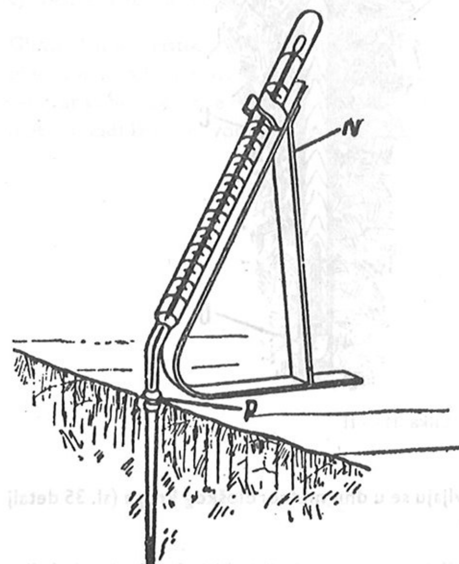
Slika 28 — II



Slika 29 — II

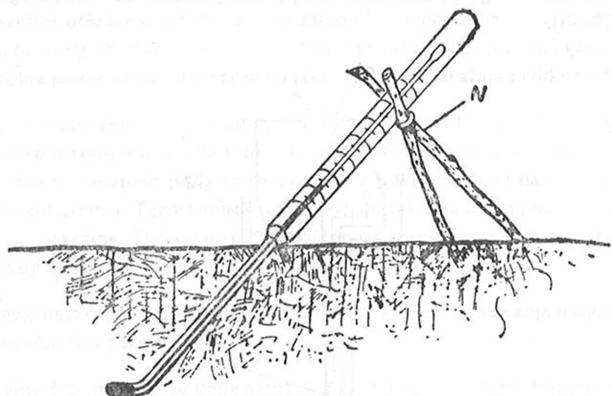
b. Temperatura tla na raznim dubinama

Temperatura tla na malim dubinama određuje se najčešće pomoću tzv. „kolenastih" (sl. 31—II) i „laktastih" (sl. 32—II) termometara. Kolenasti termometar ima zglob nad površinom zemlje, a rezervoar mu je vertikalan na dubini do 50 cm.



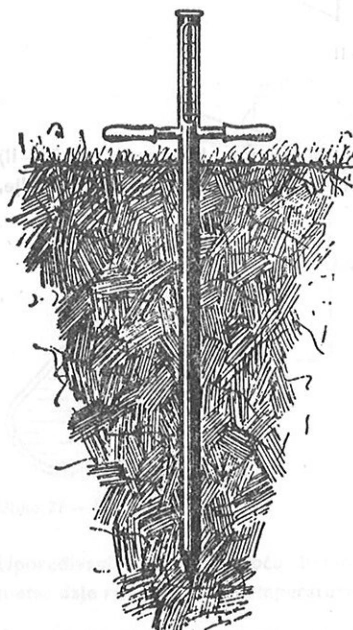
Slika 31 — II

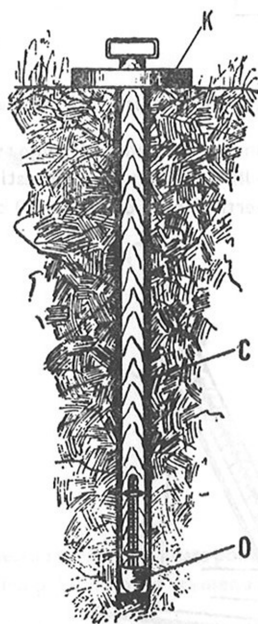
Laktasti termometri imaju horizontalan rezervoar. Oni daju nešto bolje razultate merenja temperature tla, jer je iznad njih homogen sloj zemlje. Međutim, oni su osetljiviji na smrzavanje tla i pri mrazu mogu lako da budu oštećeni.



Slika 32 — II

Za dubine preko 50 cm. koriste se „izvlačeći" (sl. 34) i , „zabadajući" termometri (sl. 33).





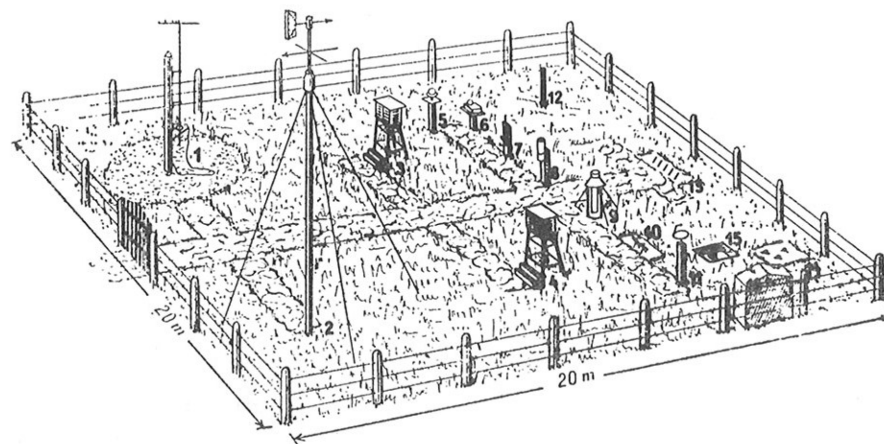
Slika 33 — II

Slika 34 — II

Termometri za merenje temperatura tla postavljaju se u dnu meteorološkog kruga (sl. 35 detalj 13).

Inače se na sl. 35 vidi i položaj drugih standardnih instrumenata koji će biti obrađeni u sledećim paragrafima.

To su: 1—grablje za oblake, 2—vetrokaz, 3—zaklon za termometre, 4—zaklon za isparitelj, 5—heliograf, 6—aktinograf, 7—stub za rezervni kišomer, 8—kišomer, 9—ombrograf, 10—minimalni termometar na 5 cm. iznad tla, 11—ogledalo za oblake, 12—snegomerna letva, 13—termometri u tlu, 14—Popovljev isparitelj, 15—kišomer u jami.



Slika 35 — II



Slika 36 — II

c) Temperatura vode

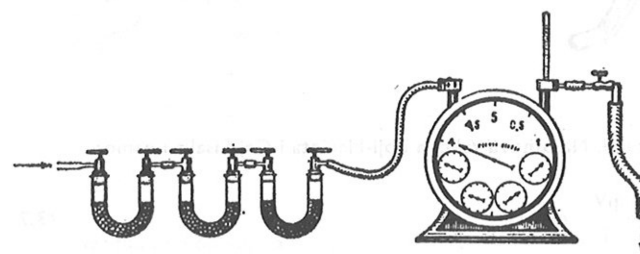
Glavna karakteristika termometra za merenje temperature vode je poseban oklop. Na vrhu oklopa je alka koja služi za privezivanje užeta pomoću koga se termometar spušta u vodu. Rezervoar termometra se nalazi u metalnoj čaši sa otvorima po obodu (sl. 36—II). Kada se termometar izvadi iz vode, voda se zadržava u čaši i sprečava brzu promenu temperature.

III

MERENJE VLAŽNOSTI VAZDUHA

APSOLUTNI METOD

Apsolutni metod omogućava da se neposrednim merenjem odredi količina vodene pare u 1 m^3 vazduha. Suština metode je u sledećem. Pomoću pumpe se usisava vazduh kroz neku materiju koja dobro apsorbuje vlagu (sl. 1—III). Pre početka opita pažljivo se izmeri težina materije koja



Slika 1 — III

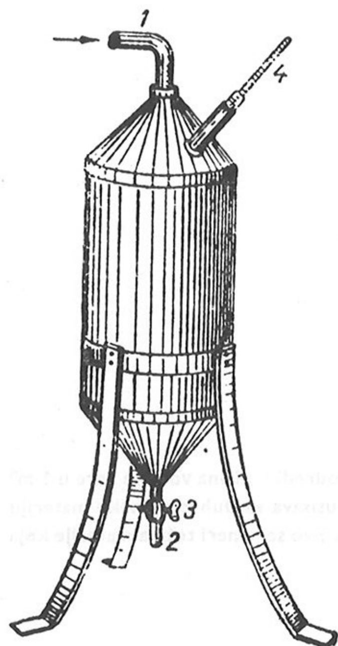
apsorbuje. Neka njena težina bude m_1. Zatim pomoću pumpe na kojoj postoji brojilo, proteramo kroz apsorbent *M* m^3 vazduha, pa ponovo na vagi izmerimo težinu apsorbenta. Neka njegov težina bude sada m_2. Tada razlika m_2-m_1 predstavlja količinu vodene pare u zapremini vazduh *M*. Prema tome, količina vodene pare u 1 m^3 vazduha biće jednaka:

$$a=\frac{m_2-m_1}{M} \qquad (3,1)$$

Za merenje zapremine vazduha, koji prođe kroz usisivač umesto gasnog brojila može da se upotrebi aspirator (sl. 2—III).

Aspirator je sud napunjen vodom sa jednim otvorom na vrhu i jednim na dnu. Na donjem otvoru postoji slavina. Na njemu je postavljen termometar, tako da se može meriti temperatura njegove unutrašnjosti. Ako se na gornji otvor aspiratora priključi crevo koje ga spaja sa apsorbentom i otvori donja slavina na aspiratoru, onda će, usled toga što voda postepeno otiče, aspirator usisavati vazduh kroz apsorbent.

Zapreminu vazduha koji je popunio aspirator umesto istekle vode označimo sa V, a njegovu temperaturu sa t_1. Vazduh koji uđe u aspirator, zasitiće se vodenom parom. Napon pare biće E. Zapremina vazduha koji je prošao kroz apsorbent neka bude M, njegova temperatura t i napon pare e.



Slika 2 — III

Pritisak vazduha označimo sa H. Na osnovu zakona Bojl-Mariota i Gej-Lisaka imamo:

$$\frac{M(H-e)}{1+\alpha t}=\frac{V(H-E)}{1+\alpha t_1} \text{ (jer je } \frac{pV}{T}=\text{const)} \quad (3,2)$$

odakle je:

$$M=\frac{V(H-E)\cdot(1+\alpha t)}{(1+\alpha t_1)(H-e)} \quad (3,3)$$

apsolutna vlažnost jednaka je

$$a=\frac{(m_2-m_1)}{M} \quad (3,4)$$

Ako ovde stavimo M iz jednačine (3,3) dobijamo:

$$a=\frac{(m_2-m_1)(H-e)(1+\alpha t_1)}{V(H-E)(1+\alpha t)} \quad (3,5)$$

pošto je:

$$a=\frac{0{,}81\ e}{1+\alpha t} \quad (3,6)$$

(koje važi ako je e izraženo u mb), biće:

$$e=\frac{H}{1-\frac{0{,}81\ V(H-E)}{(m_2-m_1)(1+\alpha t)}} \quad (3,7)$$

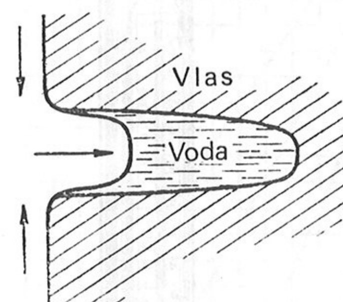
Apsolutni metod određivanja vlažnosti vazduha je vrlo složen i zahteva precizno merenje sa vagom. Ipak taj metod je najtačniji i na njemu su zasnovana sva precizna naučna istraživanja u oblasti higrometrije.

ODREĐIVANJE VLAŽNOSTI POMOĆU HIGROMETRA SA DLAKOM

Do sada nije data teorija koja bi u potpunosti objašnjavala sve pojave koje nastaju u dlaci prilikom promena relativne vlažnosti. Najpotpunija objašnjenja za sada daje teorija Sreznjevskog.

Čovječja kosa ima na površini mnoge mikroskopske pore, normalne na površinu dlake. Deo pora je popunjen pigmentom, a deo masnoćom. Pore koje nisu popunjene pigmentom imaju veliki značaj za higroskopne osobine dlake. Te praznine su prekrivene spolja slojem masnoće. Zbog toga je neophodno oslobađanje kose od masnoće, da bi se mogla primeniti za higrometar.

Kada je dlaka očišćena op masnoća vodena para se kondenzuje u tim šupljinama i one se popu njavaju vodom (sl. 3—III).



Slika 3 — III

Ako je vazduh koji opkoljava dlaku zasićen vodenom parom, menisk vode koja se nalazi u pori biće skoro ravan. Veličina napona pare nad tečnošću zavisi od krivine površine tečnosti. U ravnotežnom stanju menisk tečnosti ima krivinu proporcionalnu logaritmu relativne vlažnosti. To je takozvana Tomsonova formula:

$$\ln\frac{E_1}{E_0}=a\,\sigma\left(\frac{1}{R_1}-\frac{1}{R_2}\right) \quad (3,8)$$

gde je E_1 — napon zasićene pare nad ugnutom površinom; E_0 — napon zasićene pare nad ravnom površinom: σ — koeficijent površinskog napona vode, R_1 i R_2 — radijusi krivine ugnute površine; a — koeficijent proporcionalnosti.

Prema Laplasu $\left(\frac{1}{R_1}-\frac{1}{R_2}\right)$ predstavlja smanjenje normalnog napona pri ugnutom menisku u poređenju sa normalnim naponom pri ravnom menisku. Označimo to smanjenje sa p.

Ako smatramo da je promena dužine dlake srazmerna sili koja na nju deluje, možemo da pišemo:

$$p=M\frac{\Delta l}{l} \quad (3,9)$$

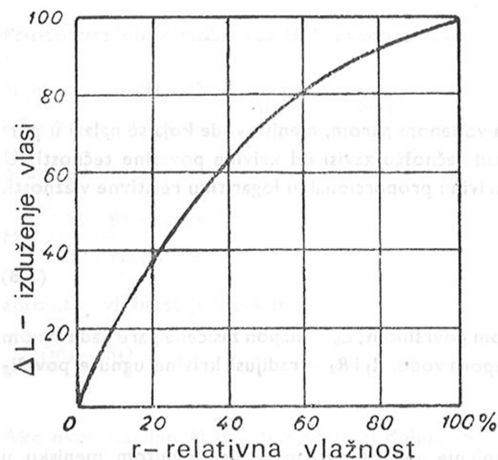
gde je:

$$p=\sigma\left(\frac{1}{R_1}-\frac{1}{R_2}\right) \qquad (3,10)$$

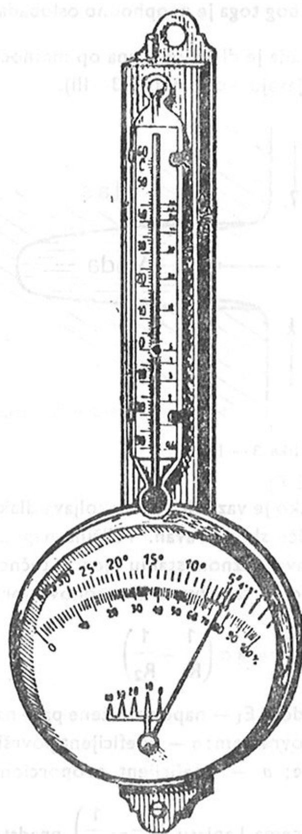
M — moduo izduženja vlasi, l—dužina vlasi pri ravnim meniscima, Δ l—smanjenje dužine vlasi pod uticajem sila koje na nju dejstvuju. Zamenama u formuli dobijamo:

$$\ln\frac{E_1}{E_0}=c\,\Delta\,l \quad \text{gde je } c=\frac{aM}{l} \qquad (3,11)$$

Na taj način, ako je napon vodene pare u vazduhu manji od napona potpunog zasićenja, to će deo vode ispariti iz pora vlasi i menisci u porama će se ugnuti, pri čemu će njihova krivina biti proporcionalna prirodnom logaritmu relativne vlažnosti. Pri tom će površinski napon delovati u pravcu skraćenja dlake. Pošto je stezanje pora srazmerno promeni krivine meniska, to će i skraćivanje dlake biti srazmerno logaritmu relativne vlažnosti, što se slaže sa osmatranjem (sl. 4—III).



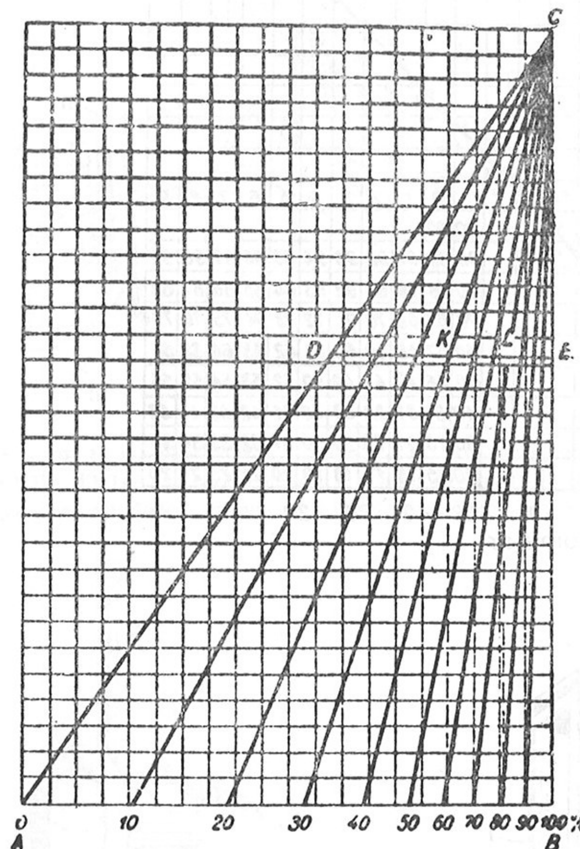
Slika 4 — III



Slika 5 — III

HIGROMETRI

Higrometri sa dlakom (sl. 5—III) se zasnivaju na osobini čovečje dlake da menja dužinu sa promenom relativne vlažnosti. Dlaka nije po površini glatka već ima po sebi pore od kojih su jedne ispunjene pigmentom a druge masnoćom. Ukoliko se masnoća odstrani pore će omogućavati kondenzaciju vodene pare. Dlake se obrađuju na više različitih načina, samo se pazi da se ne naruši sastav dlake. Dlaka menja svoju dužinu oko 2,5% ako se vlažnost menja od 0—100%. Izduženje nije ravnomerno. Kod malih vlažnosti dlaka se brže izdužuje nego kod velikih vlažnosti (sl. 4—III). Dlake se proveravaju po grafiku u kome je skala na apscisi logaritamska, i ako ne zadovoljavaju odbacuju se (sl. 6—III). Ako je dlaka istegnuta i preopterećena može postati neupotrebljiva.

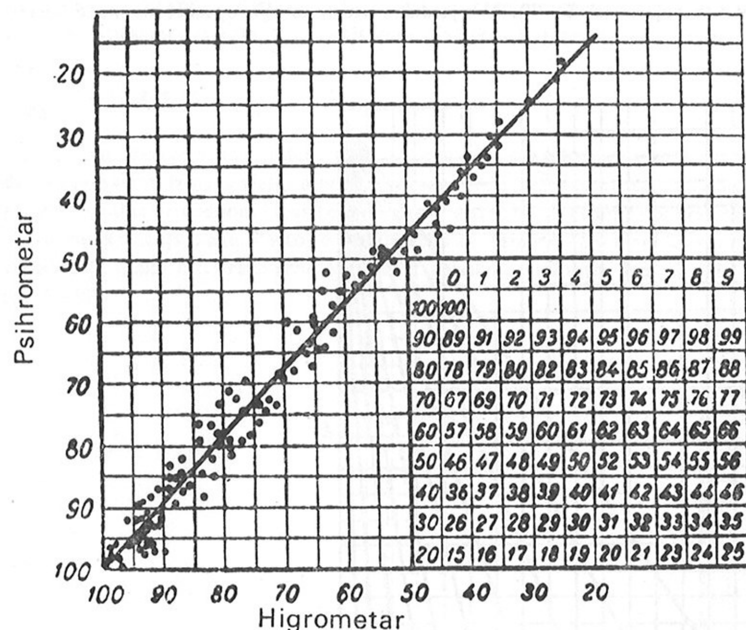


Slika 6 — III

Higrometri sa dlakom se konstruišu tako da se dlake zategnu između jedne čvrste poluge i poluge sa kazaljkom gde se nalazi i teg da bi se dlake zategle. Obično se postavlja više dlaka zajedno da ne bi došlo do kidanja, a i zbog toga što se sve dlake ne izdužuju jednako, pa sve daju neko srednje izduženje. Merenja sa higrometrom su manje tačna nego sa psihrometrom. Ova dva instrumenta se stavljaju u zaklon zajedno, ali u zimskim mesecima higrometar ima veću ulogu, jer su psihrometrijska merenja tada manje tačna, ili i nemoguća. U jesen se vrše paralelna merenja i nacrta se grafik sa uporednim podacima. Higrometar se posle upoređivanja ne sme doterivati. Kada se temperature zimi spuste ispod — 10°C, vrše se očitavanja samo po higrometru, a vrednost koja bi bila na psihrometru određuje se sa grafika (sl. 7—III).

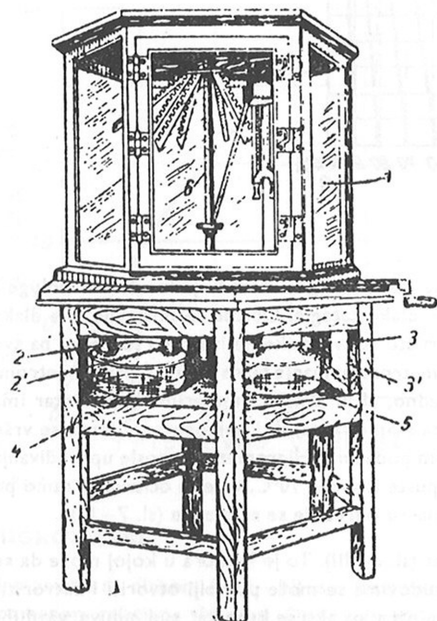
Za proveravanje higrometra koristi se higrostat (sl. 8—III). To je komora u kojoj može da se menja relativna vlažnost po želji. Veza među sudovima se može po volji otvoriti i zatvoriti. Iznad vodene površine se nalazi zasićena vodena para, pa ako se kroz taj sud uduva vazduh, vlažnost će se povećati. H_2SO_4 apsorbuje vlagu pa se pumpanjem vazduha kroz ovaj sud vlaž-

nost smanjuje. Kontrola se vrši na svakih 10%, a kako instrumenti imaju izvesnu inerciju, čeka se 30 minuta. Pošto su proverene vrednosti pri porastu vlažnosti, isto se postupa pri smanjivanju vlažnosti. Kod higrometara se sertifikat ne izdaje, pošto vrlo brzo dolazi do odstupanja.



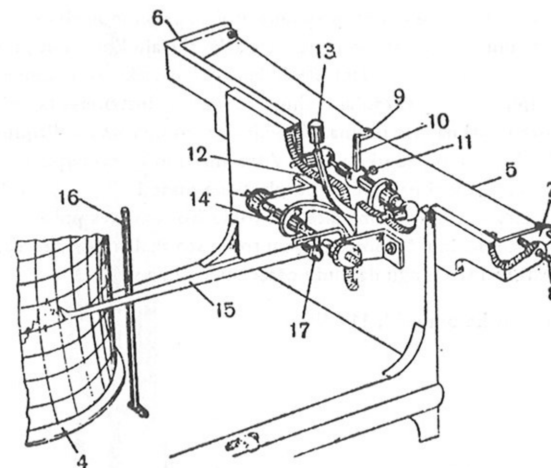
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
100	100									
90	89	91	92	93	94	95	96	97	98	99
80	78	79	80	82	83	84	85	86	87	88
70	67	69	70	71	72	73	74	75	76	77
60	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66
50	46	47	48	49	50	52	53	54	55	56
40	36	37	38	39	40	41	42	43	44	46
30	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
20	15	16	17	18	19	20	21	23	24	25

Slika 7 — III



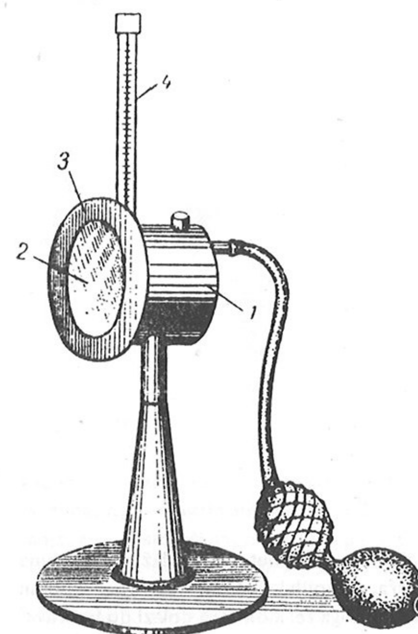
Slika 8 — III

Higrograf (sl. 9—III) je zasnovan na istom principu. Snop dlaka mora biti veći, jer je i prenosni mehanizam glomazniji. Snop je obično zaštićen metalnom rešetkom. Proveravanje se vrši namotavanjem vlažne krpe oko rešetke. Registrovanje se može vršiti i električnim putem.



Slika 9 — III

Vlažnost se može određivati i pomoću kondenzacionih higrometara na osnovu tačke rose (sl. 10—III). Temperatura tačke rose je ona temperatura kod koje dolazi do kondenzacije vodene pare pri određenom naponu pare i nepromenjenom atmosferskom pritisku. U rezervoar se



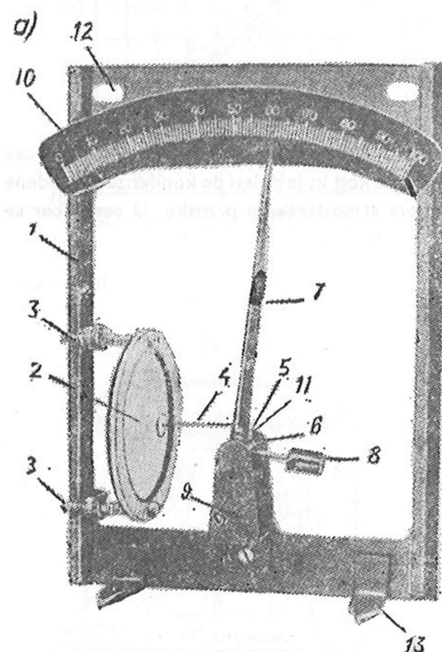
Slika 10 — III

sipa etar. Pomoću gumene kruške se produvava vazduh kroz etar čime se pojačava njegovo isparavanje i temperatura mu opada. Na široku metalnu ploču će se u jednom momentu nahvatati kondenzovane kapljice i ta temperatura je tačka rose. Zbog inercije termometar će sa zakaš-

njenjem pokazivati stvarnu temperaturu etra, zato se određuje i temperatura pri kojoj kapljice izčeznu. Posle nekoliko takvih čitanja uzima se srednja vrednost kao tačka rose na osnovu koje se mogu odrediti i druge veličine vlažnosti.

Za merenje vlažnosti električnim putem obično se koristi promena otpora prijemnog elementa sa promenom vlažnosti vazduha. Za izradu prijemnog elementa se u tom slučaju koristi litijum hlorid. To je jedna higroskopna materija čiji se električni otpor jako menja, ako se promeni vlažnost vazduha, usled toga što ona upija vlagu iz vazduha. Tehnički se izrada instrumenta koji koristi tu osobinu litijum hlorida može rešiti na više načina. U nekim instrumentima se litijum hlorid nanosi na dužu platnenu traku koja se može uključiti u Vitstonov most kao nepoznati otpor. U radio sondama se litijum hlorid nanosi na pločicu od plastične mase i uključuje se u oscilatorno kolo radio davača. Preimućstvo ovih instrumenata je u tome što se njihva pokazivanja mogu lako registrovati ili slati na veću daljinu. Nedostatak je u tome što skala nije linearna, što su osetljivi i na promene temperature i što mogu da budu oštećeni kapima vode.

Za izradu higrometara koriste se i organske opne (sl. 11—III).



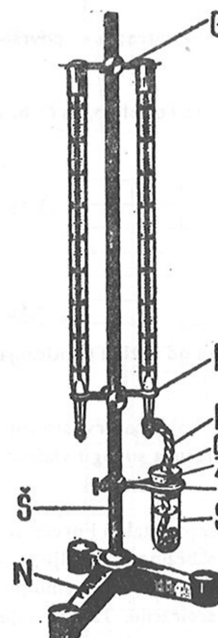
Slika 11 — III

PSIHROMETRIJSKI METOD

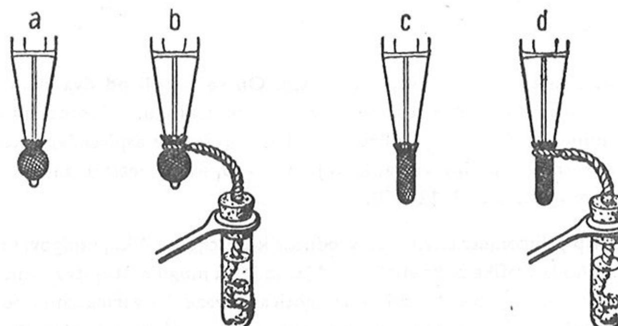
Psihrometrijski metod je jedan od najrasprostranjenijih. Po tom metodu se vlažnost vazduha određuje na osnovu pokazivanja dva jednaka termometra, od kojih je jednom rezervoar umotan vlažnom krpicom (sl. 12 i 13—III). Sa površine rezervoara toga termometra dolazi do isparavanja vode, čiji intenzitet zavisi od vlažnosti okolnog vazduha. Ukoliko u okolnom vazduhu ima manje vodene pare, utoliko će isparavanje sa vlažnog termometra biti jače, a on će pokazivati nižu temperaturu. Prema tome razlika suvog i vlažnog termometra zavisi od vlažnosti vazduha. Suvi termometar pokazuje temperaturu vazduha, a vlažni termometar pokazuje sopstvenu temperaturu, koja zavisi od isparavanja sa površine njegovog rezervoara.

Isparavanje sa neke površine u jedinici vremena dato je sa:

$$M = \frac{cS\,(E_1 - e)}{H} \tag{3,12}$$



Slika 12 — III



Slika 13 — III

gde je M — masa vode koja je isparila: S — površina sa koje se vrši isparavanje; H — pritisak vazduha; E_1 — maksimalni napon vodene pare pri temperaturi površine sa koje se vrši isparavanje; e — postojeći napon vodene pare; c — koeficijent proporcionalnosti koji zavisi uglavnom od brzine proticanja vazduha pored rezervoara termometra.

Na taj način, utrošak toplote na isparavanje sa površine vlažnog termometra može se izraziti formulom:

$$Q_1 = \frac{cr\,S\,(E_1 - e)}{H} \tag{3,13}$$

gde je Q_1 — količina toplote; r — toplota isparavanja vode.

S druge strane, usled razlike u temperaturi vazduha i okoline, rezervoar će prema Njutnovom zakonu zračenja primati toplotu:

$$Q_2 = BS_1 (t - t_1) \tag{3,14}$$

gde je t — temperatura okolnog vazduha; t_1 — temperatura vlažnog termometra; S_1 — površina rezervoara; B — koeficijent proporcionalnosti.

Kako se očitavanje vrši tek kada se uspostavi ravnoteža između termometra i okoline, to će biti $Q_1 = Q_2$. Zbog toga je:

$$\frac{cr\,S\,(E_1 - e)}{H} = BS_1 (t - t_1) \tag{3,15}$$

ili, ako uzmemo da je $S = S_1$:

$$e = E_1 - A\,(t - t_1)\,H \tag{3,16}$$

gde je $A = B/cr$. To je konstanta koja zavisi od konstrukcije psihrometra i od brzine proticanja vazduha. Formula (3,16) naziva se psihrometriska formula.

Za određeni atmosferski pritisak (H=const.) i brzinu proticanja vazduha oko rezervoara termometra (A=const.), napon vodene pare zavisi samo od razlike temperatura suvog i vlažnog termometra.

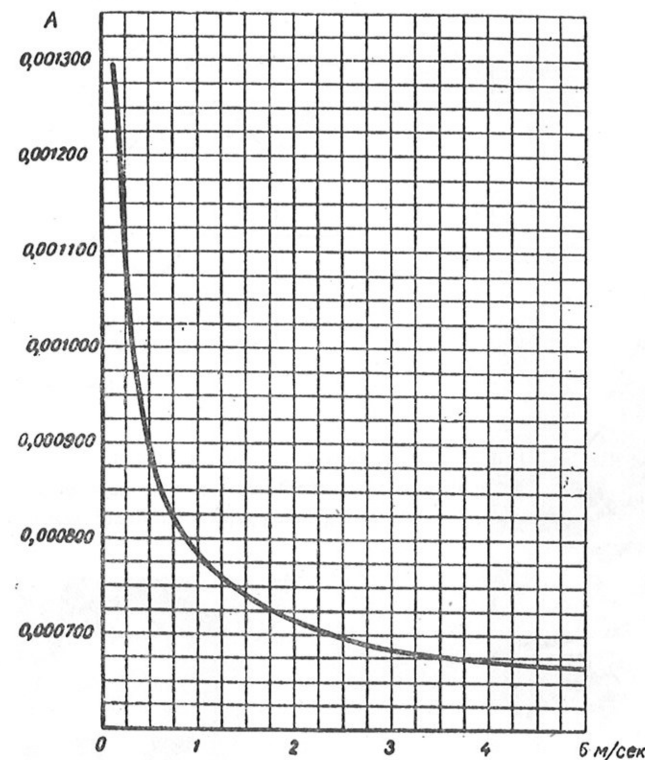
Zavisnost koeficijenta A od brzine proticanja vazduha određuje se eksperimentalno i pretstav ljena je sl. 14—III. Vidimo da vrednost koeficijenta A opada sa porastom brzine aspiracije i to utoliko sporije ukoliko je brzina veća. Zato je potrebno za aspiraciju koristiti neku brzinu pri kojoj varijacije koeficijenta A nisu suviše velike, pri promeni brzine aspiracije. Takođe nije podesno ni da brzina aspiracije bude suviše velika, jer to donosi tehničke teškoće i poskupljenje uređaja. Za praksu je usvojena brzina od 2—3 m/sec.

PSIHROMETRI

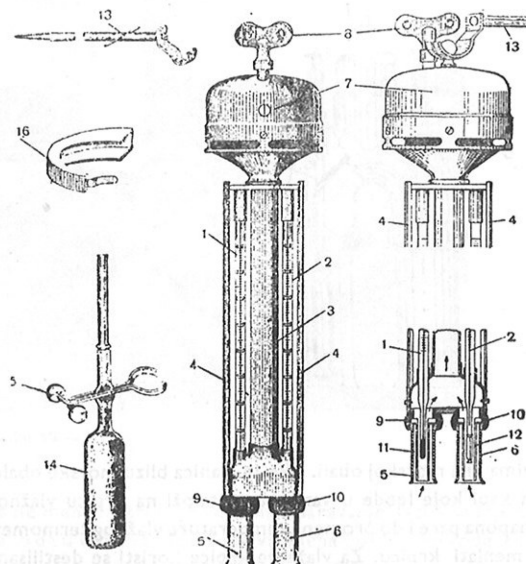
Najjednostavniji tip psihrometra je tzv. Augustov psihrometar. On se sastoji od dva živina stanična termometra, koji vise na stalku i drže se u meteorološkom zaklonu. Jedan od njih je suvi, a drugi je vlažni termometar. Kod ovog psihrometra nema veštačke aspiracije, tako da njegovo pokazivanje zavisi osetno od brzine vetra, iako je naravno, uticaj vetra u zaklonu znatno manji nego na otvorenom prostoru (sl. 12—III).

Za tablice koje se rade za ovaj tip psihrometra uzima se vrednost koeficijenta A koja odgovara brzini aspiracije od 0,8 m. sec. Iz hoda grafika za koeficijenat A jasno je da mogu nastupiti znatne razlike u pokazivanju ovog psihrometra ako stvarna brzina proticanja vazduha varira samo od 0—3 m. sec.$^{-1}$ Zbog toga nedostatka ovaj tip psihrometra se sve manje koristi, već se uglavnom upotrebljavaju psihrometri sa veštačkom aspiracijom. Oni mogu biti različito tehnički izvedeni, ali zajedničko im je to što jedan ventilator usisava vazduh pored prijemnih elemenata termometra. Vazduh mora biti usisavan, a ne duvan na termometre, jer bi se u tom slučaju grejao na motoru ventilatora, a i dolazio bi sa mesta znatno iznad ili ispod termometra, gde temperatura može da bude različita od one koju želimo da merimo. Na slikama su prikazani Asmanov aspiracioni psihrometar sa mehaničkim pogonom ventilatora (sl. 15—III) i isti takav psihrometar kod koga je pogon ventilatora električni (sl. 16—III). Umesto živinih termometara mogu se koristiti termoelementi, platinski termometri ili termistori (sl. 17—III). U tom slučaju je omogućena laka registracija merenja. Ako se vrši registracija merenja, potrebno je da kvašenje vlažnog termometra bude neprekidno, što se obezbeđuje niže opisanim uređajem. Pošto se obično registruju merenja na nekoliko mesta odjednom koristi se centralni, dovoljno jak, ventilator koji je povezan gumenim cevima sa psihrometrima. Ako se merenje vrši sa termometrima otpora, koristi se šema sa sl. 18—III. Preklopnikom 1 uključuje se u kolo vlažni termometar r_1.

Prijemni elemenat vlažnog termometra(rezervoar ukoliko se radi sa živinim termometrom (mora biti obavijen jednostrukim muslinom ili batistom, koji mora biti čist i bez primesa

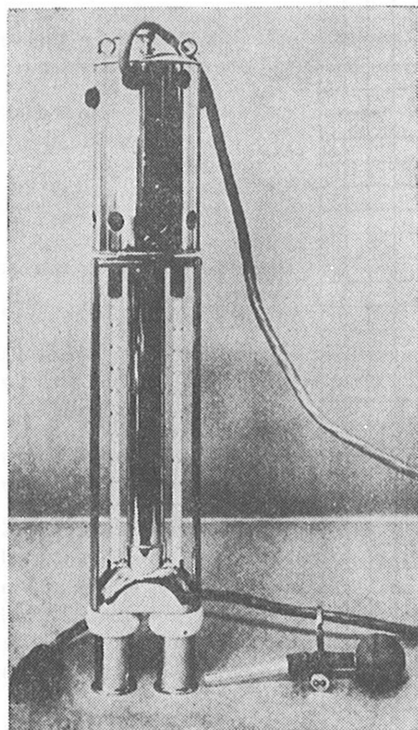


Slika 14 — III

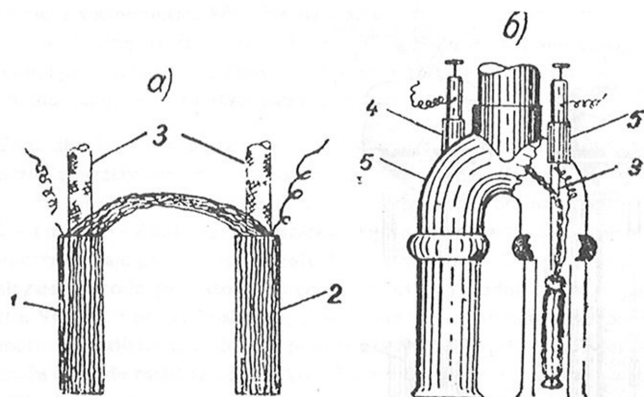


Slika 15 — III

masnoće. To se postiže pranjem i ispiranjem u destilisanoj vodi. Za cilindrične rezervoare najbolje je da je krpica tkana u obliku čarapice, koja se navlači na razervoar. Važno je da muslin leži glatko, bez nabora na rezervoaru. Krpica se mora menjati pre nego što se zaprlja, što je



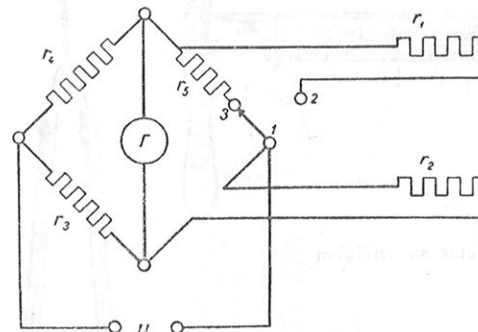
Slika 16 — III



Slika 17 — III

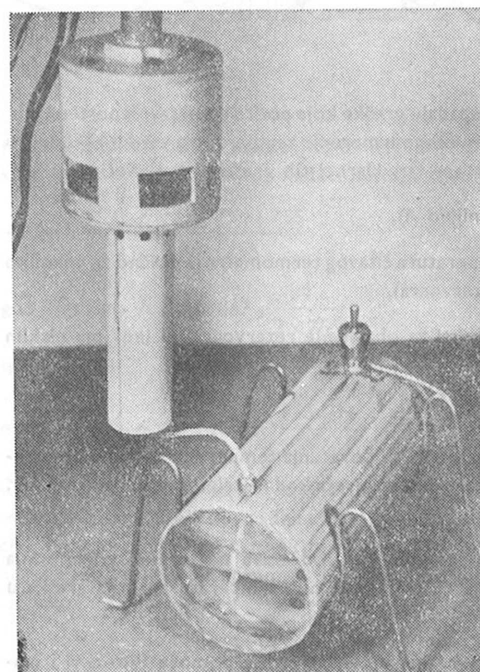
naročito važno u industrijskim krajevima i na morskoj obali. Ako je stanica blizu morske obale, postoji mogućnost da se so iz sitnih kapi koje lebde u vazduhu, nataloži na krpicu vlažnog termometra. To dovodi do promene napona pare i do promene temperature vlažnog termometra. Zato je na moru potrebno češće menjati krpicu. Za vlaženje krpice koristi se destilisana voda ili kišnica.

Jedna od vrlo važnih stvari kod psihrometra je obezbeđivanje ravnomernog proticanja vode iz vodenog rezervoara kroz fitilj do krpice koja obuhvata prijemni deo vlažnog termometra. Zato je potrebno da se nivo vode u rezervoaru ne menja. To se može obezbediti na različite načine.



Slika 18 — III

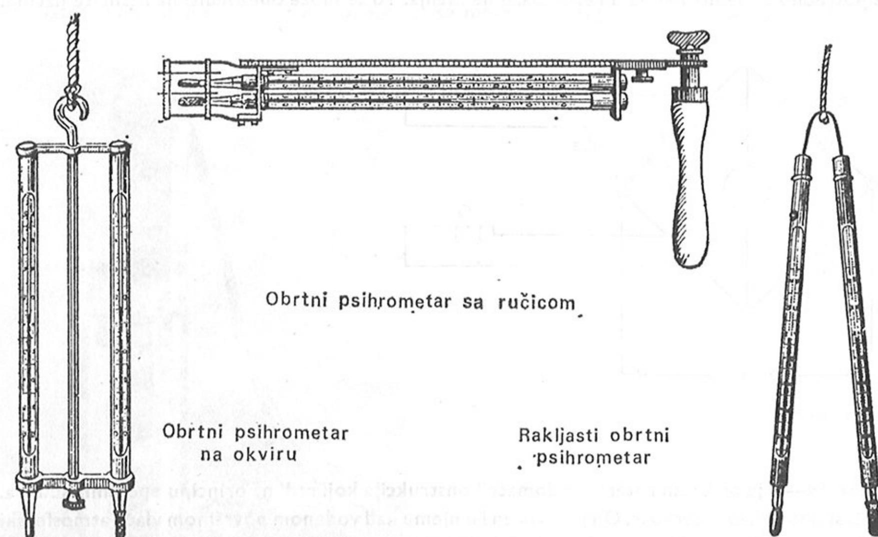
Na sl. 19—III je prikazan rezervoar domaće konstrukcije koji radi na principu spojenih sudova. Veći sud služi kao rezervoar. On je otvoren i u njemu nad vodenom površinom vlada atmosferski pritisak. Manji sud iz čijeg gornjeg dela izlazi fitilj, hermetički je zatvoren i nivo vode u njemu



Slika 19 — III

se ne menja. Utrošena voda na isparavanje nadoknađuje se iz većeg suda kroz otvor pri dnu, tako da u većem sudu u toku vremena opada nivo vode. Funkcionisanje ovog uređaja je detaljnije opisano u radu navedenom pod br. 10.

Aspiriranje se može postići i obrtanjem psihrometra (sl. 20—III).



Slika 20 — III

GREŠKE KOD PSIHROMETRA

Greške se dele u dve grupe. U prvu grupu spadaju greške koje potiču od nesavršenosti termometara, i o kojima je bilo reči u paragrafu posvećenom merenju temperature vazduha. U drugu grupu spadaju greške vezane za vlažni termometar. Uzroci tih grešaka su sledeći:

1. Promenljiv intenzitet aspiracije (promenljivo *A*).
2. Provođenje toplote duž termometra (temperatura čitavog termometra je obično za nekoliko stepeni viša od temperature vlažnog rezervoara).
3. Neujednačena debljina batista koji se koristi za obavijanje rezervoara, ili leda pri niskim temperaturama.
4. Nečistoća krpice ili vode.

Sve greške (izuzev prejake ventilacije) deluju u pravcu povećanja temperature vlažnog termometra. Greška usled provođenja toplote može da bude najveća kod metalnih termometara (npr. kod termoelemenata).

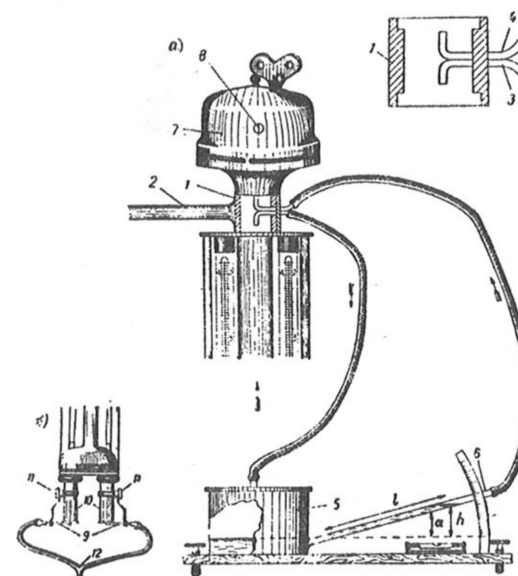
Greška u temperaturi vlažnog termometra se vrlo jako odražava na tačnost određivanja relativne vlažnosti. Dovoljna je greška od 0,2°C, pri negativnim temperaturama, da greška u relativnoj vlažnosti iznosi 10%.

Kontrola brzine aspiracije vrši se merenjem brzine vazdušne struje pomoću Pito-cevi i manometra (sl. 21—III).

PSIHROMETARSKE TABLICE

U praksi se određivanje vlažnosti vrši pomoći psihrometarskih tablica, koje su sastavljene na osnovu psihrometarske formule.

Tablice se sastavljaju za pritisak $H = 755$ mmHg. Koeficijent *A* se uzima 0,00067 što odgovara brzini aspiracije od 2,5 m/sec^{-1}. Pomoću tablice se iz poznatih vrednosti temperatura suvog i vlažnog termometra dobijaju vrednosti stvarnog napona pare i relativne vlažnosti. Ukoliko se



Slika 21 — III

pritisak razlikuje od 755 za više od 5 mmHg mogu se pomoću dopunske tablice uvesti korekcije. Član korekcije je izveden na sledeći način. Psihrometarsku formulu možemo pisati:

$$e = E_1 - \frac{1}{2}(t - t_1)\frac{H - 755 + 755}{755} \tag{3,17}$$

gde je uzeto $A = 0{,}00067 = \dfrac{1}{2 \times 755}$

iz toga sledi:

$$e = E - \frac{1}{2}(t - t_1) + \frac{1}{2}(t - t_1)\frac{755 - H}{755} \tag{3,18}$$

Član u prvoj zagradi daje vrednosti napona vodene pare pri atmosferskom pritisku od 755 mmHg. Opširne tablice su rađene samo prema vrednostima tog člana. Drugi član sadrži korekciju Δe za atmosferski pritisak različit od 755 mmHg. U psihrometarskim tablicama se daju korekcije na svakih deset mmHg. Osim tablica za stvarni napon u psihrometarskim tablicama se nalaze i tablice maksimalnog napona, specifične vlažnosti i td.

IV

MERENJE PADAVINA

Svrha merenja padavina je dobijanje prostorne i vremenske raspodele vode, koja se iz atmosfere taloži na tlo. Voda u atmosferi, od koje potiču padavine, dolazi u atmosferu putem isparavanja sa vodenih i kopnenih površina. Ta dva procesa su nerazdvojno povezana i da bi se dobio bilans kretanja vode u atmosferi, potrebno ih je uporedno meriti.

Na meteorološkim stanicama se vrše osmatranja svih vrsta padavina. Osmatrač određuje vrstu padavina vizuelno, dok se količine padavina mere. Intenzitet i vreme trajanja padavina može se određivati i instrumentima i vizuelno.

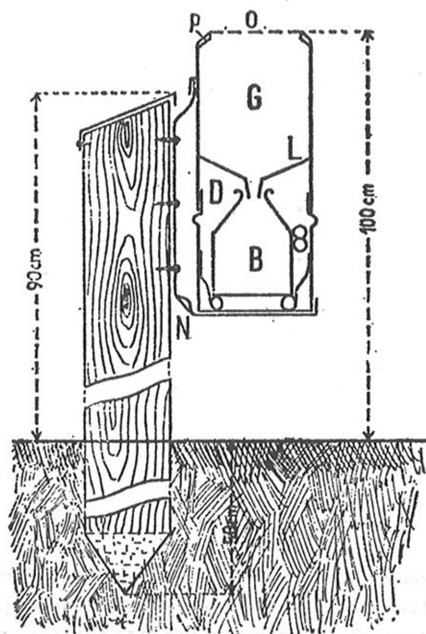
Čvrste i tečne padavine se mere debljinom sloja vode koja bi se od njih dobila na horizontalnoj površini, pod uslovom da nema oticanja i isparavanja. Debljina sloja izražava se u milimetrima i određuje se sa tačnošću od 0, 1 mm.

Najčešće korišćen princip merenja kiše sastoji se u sakupljanju kiše koja padne u jedan sud sa otvorom od nekoliko stotina kvadratnih santimetara. Pretpostavlja se da u taj otvor padne ista količina kiše kao i na bilo koju jednaku horizontalnu površinu u okolini. Zbog toga položaj kišomera mora biti takav da garantuje reprezentativnost mesta, a konstrukcija takva da ne prouzrokuje razlike u atmosferskim uslovima između instrumenta i okoline.

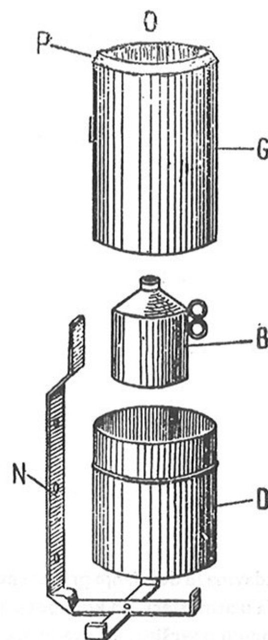
MERENJE KIŠE

Kišomer je metalni sud (sl. 1 i 2—IV), koji se postavlja na 1 metar iznad zemlje sa površinom gornjeg otvora od 200 cm^2. Unutra se nalazi levak i jedan manji sud u koji se sliva kiša. Osmatrač uzima sud sa kišom i pomoću menzure određuje količinu padavina. Menzura ima poprečni presek od 20 cm^2. Zbog toga svaki mm padavina u menzuri daje jedan cm. To omogućuje očitavanje količine padavina sa tačnošću od 0,1 mm.

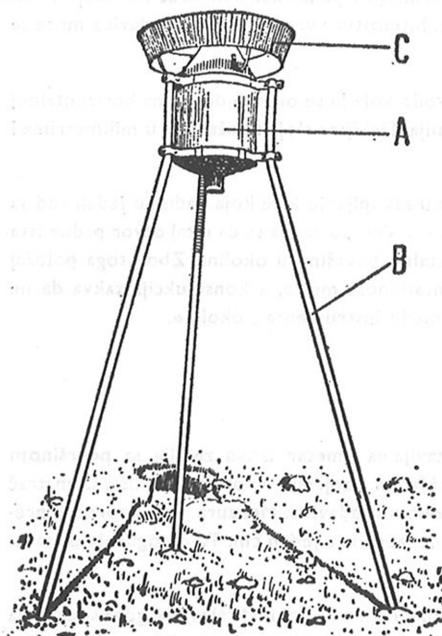
Totalizatori (sl. 3—IV) su kišomeri koji se postavljaju u nepristupačnim krajevima, gde osmatranja nisu neprekidna. Osmatranje se vrši dva puta godišnje. Ovi kišomeri se postavljaju na 3 m. visine da bi bili zaštićeni od oštećenja. Radi topljenja padavina u čvrstom stanju i sprečavanja zamrzavanja onih u tečnom stanju, u zimsko doba se u totalizatoru drži rastvor od 4 kg. pečenog kalcijum hlorida ($CaCl_2$) u 7 litara vode što odgovara tački smrzavanja od $-40°C$. Zatim radi sprečavanja isparavanja stavlja se za zimsko razdoblje u totalizator 600, a za letnje 1000 grama tehničkog vazelinskog ulja gustine oko 0,8.



Slika 1 — IV



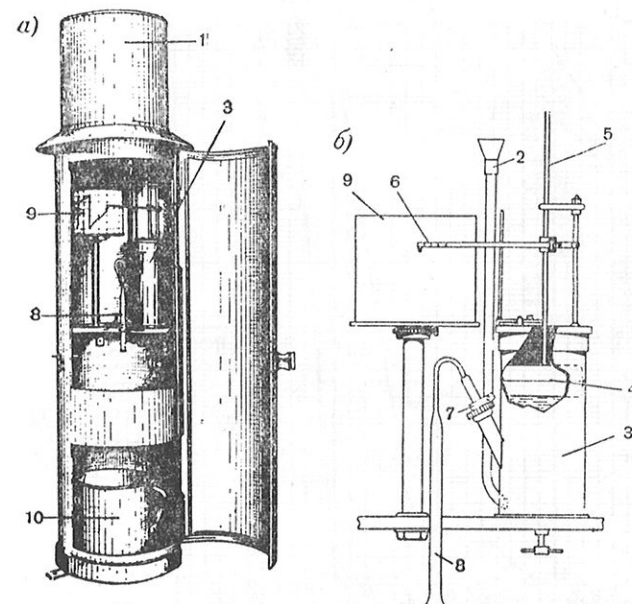
Slika 2 — IV



Slika 3 — IV

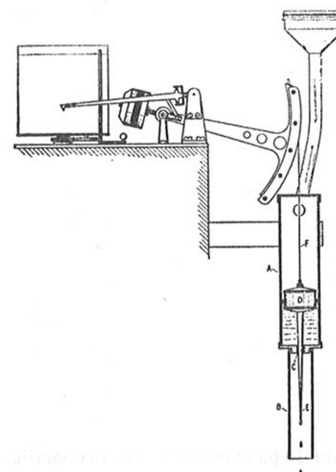
Pluviograf (ombrograf) je registrirni instrument za merenje (Sl. 4 i 5—IV) količine padavina. Površina gornjeg otvora je kao kod kišomera 200 cm². Kod njega se voda sliva u jedan rezervoar koji se povremeno prazni. Kada se nivo vode u cilindru podigne do prevoja na sifonu voda iscuri

kroz sifon u lonče. Plovak je povezan sa kazaljkom koja upisuje na valjak krivu padavina (sl. 6—IV). Pri pražnjenju suda na grafiku se dobija vertikalna linija.



Slika 4 — IV

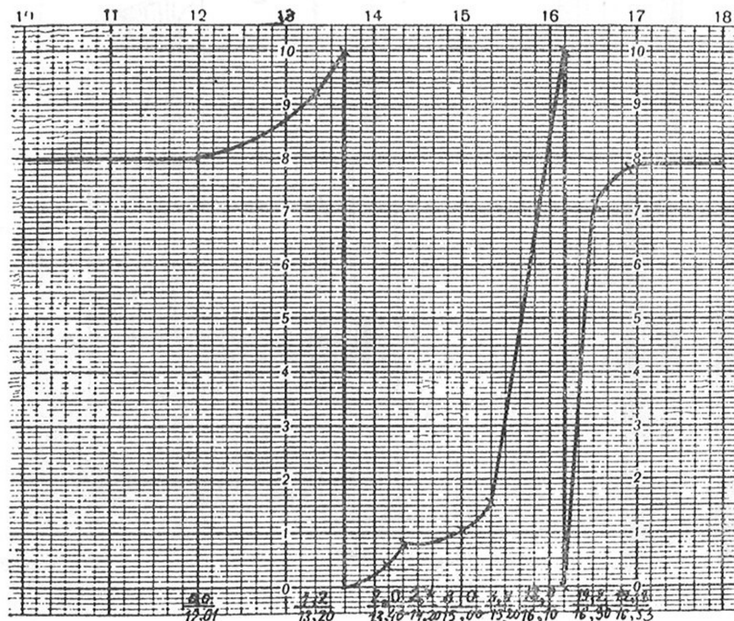
Ombrograf sa klackalicom (sl. 7—IV) se sastoji od levka u koji pada kiša, klackalice u koju se sliva kiša i iz levka i suda u koji odlazi voda iz klackalice. Klackalica pada pri tačno određenoj količini



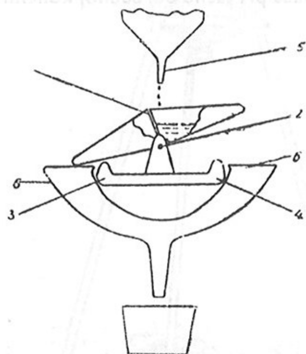
Slika 5 — IV

padavina, a pero koje je povezano sa njom se pritom podiže za određenu visinu (napr. 1 mm). Nedostatak pluviografa sa plovkom je, da se pri jakom pljusku, kiša koja pada za vreme praž-

njenja kroz sifon, ne registruje. Pluviograf sa klackalicom greši ako je trenje suviše veliko ili ako je jedan čančić teži od drugog.



Slika 6 — IV



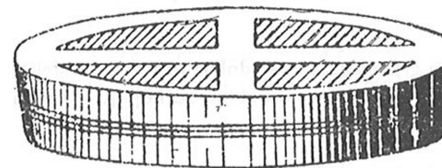
Slika 7 — IV

PROVERAVANJE KIŠOMERA

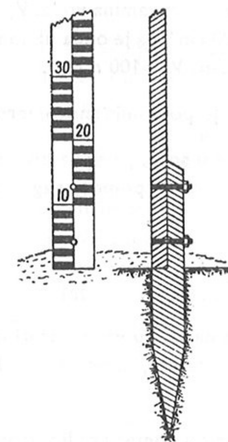
Sud u koji se skuplja kišnica se puni vodom, spolja se dobro obriše pa se onda stavi na list hartije. Posle izvesnog vremena se kontroliše da li je hartija vlažna. Zatim se čeka pola sata, da voda primi temperaturu okoline, pa se ponovo proverava, jer je u prvom slučaju moglo doći do pojave rose. Treba kontrolisati i gornji otvor na kišomeru, jer od njega zavisi količina vode u sudu. Proveravanja se vrše pomoću gotovog šablona zarubljene kupe sa tri linije (sl. 8—IV). Ova kupa se stavlja u otvor kišomera tako, da donja linija bude u sudu, a gornja iznad suda.

MERENJE SNEŽNIH PADAVINA

Prilikom snežnih padavina se uglavnom meri visina snežnog pokrivača i gustina snega, pa se zatim određuje količina vode koju sneg sadrži. Visina padavina se meri pomoću snegomernih letvi (sl. 9—IV). Letve mogu biti stalne i pokretne. Ovakva merenja se vrše na zaklonjenim i



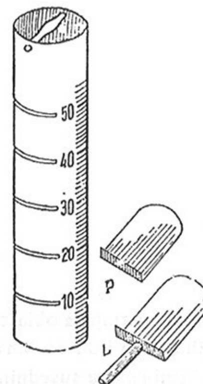
Slika 8 — IV



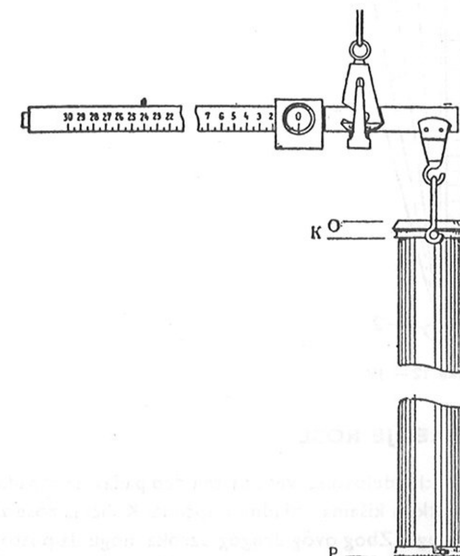
Slika 9 — IV

otvorenim mestima posebno, jer količina snega zavisi i od jačine vetra. Kao zaklonjeno mesto se smatra ono koje je zaklonjeno drvećem (proplanak). Otvoren prostor nema u blizini nikakvih ograda. Oko letve se stvara uvala, pa ako bismo posmatrali odozgo, javila bi se greška u očitavanju. Zbog toga je potrebno na dva metra od letve očistiti sneg, pa očitavati visinu snega, tako da oko osmatrača bude približno na nivou površine snega. Pokretne letve se zovu snegomerni lenjiri. Vrh im je zašiljen, da bi se mogli zabosti, pri tome se treba truditi, da se zabodu sasvim do zemlje. Merenja se vrše na više meste pa se onda uzima srednja vrednost.

Za merenje gustine snega upotrebljava se Helmanova vadilica (sl. 10—IV) i snegomerna vaga (sl. 11—IV).



Slika 10 — IV



Slika 11 — IV

Pomoću vadilice se izvadi sneg, istopi se i meri se količina vode. Masa snega jednaka je zapremini vode i zato se pomoću menzure izmeri zapremina; pa se gustina računa po formuli:

$$d=\frac{m}{V_s}=\frac{V_v}{V_s}$$

gde je d — gustina, Vv — zapremina vode, V_s — zapremina snega i m — masa snega. Površina otvora na vadilici je 100 cm², pa je onda ukupna zapremina, ako je dubina do koje je zabodena vadilica n, data relacijom: $V_S=100\ n$ cm³.

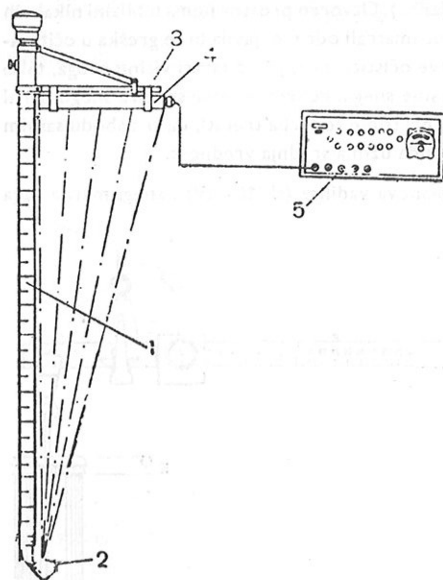
Za merenja na terenu je podesnija snegomerna vaga, kod koje se masa snega meri direktno.

Cilindar vage se zabode u sneg, pa se uz pomoć lopatice izvadi zahvaćena količina snega. Masa snega se jednostavno određuje pomoću vage, a zapremina snega određuje se dubinom do koje je zaboden cilindar.

$$d=\frac{m}{V}=\frac{m}{100\,n}$$

Ako je masa obeležena na kraku vage u stotinama grama, gustina se dobija jednostavno deljenjem broja podeoka na vagi m, sa brojem podeoka koji pokazuju dubinu do koje je zaboden cilindar-n.

Masa snega se može meriti i pomoću radioaktivnih izotopa. Apsorbovanje zračenja je srazmerno masi kroz koju zrak prolazi, pa se ovim načinom meri direktno količina vode sadržana u snežnom pokrivaču (sl. 12—IV).



Slika 12 — IV

MERENJE ROSE

U nekim delovima sveta znatan deo padavina otpada na rosu. To su uglavnom pustinjske oblasti sa retkim kišama i hladnim noćima. Količina rose zavisi od meteoroloških uslova i od osobina podloge. Zbog ovog drugog uzroka mogu da postoje znatne razlike u količini rose u susednim oblastima, pa je teško rešiv problem reprezentativnosti merenja.

Jedan od metoda merenja rose sastoji se u tome da se uveče izloži jedna ploča od nekog higroskopnog materijala i da se ujutro izmeri promena njene težine. Ploča može biti od gipsa. Jutarnje merenje mora da se izvede u momentu izlaska sunca, da bi se izbeglo isparavanje. Teškoća je ovde (slično merenjima isparavanja) u tome što je neizvesno koliko je stvarno taloženje rose na podlozi koja se bitno razlikuje od materijala iskorišćenog za merenje. Ovaj metod nije podesan za operativu.

Jednostavan instrument konstruisao je Đuvdevani. On se sastoji od pravouglog drvenog bloka obojenog specijalnom crvenom bojom, koji se izlaže uveče na standardnoj visini iznad tla. Veličina, oblik i raspored kapi rose upoređuje se ujutro sa serijom slika koje pokazuju različite intenzitete formirane rose, i na taj način osmatrač vizuelno odredi intenzitet rose. Naravno i ovaj instrument ne rešava problem kolika je stvarna količina rose natložena na tlu.

Registrovanje pojave rose i inja može se vršiti pomoću instrumenta Kirijazopulosa. On se sastoji od trake nagaravljenog papira, koja se premotava sa jednog valjka na drugi pomoću satnog mehanizma, a njen srednji deo je izložen uticaju rose i slane. Kapi rose ili slana ostavljaju na traci trag, koji se docnije može dobro razlikovati. Takođe se razlikuju i tragovi kiše, pa je njime moguće razgraničiti kišu od rose što napred navednim instrumentima nije bilo moguće. Nedostatak mu je što se količina rose može samo grubo proceniti pomoću njegove registracije.

V

MERENJE ISPARAVANJA

Na veličinu isparavanja utiče čitav niz faktora. Ispitivanja pokazuju da brzina isparavanja zavisi od vrste tečnosti, veličine površine sa koje se vrši isparavanje, prisustva pare odgovarajuće tečnosti, od kretanja vazduha nad tečnošću koja isparava i od pritiska vazduha.

Daltonova formula koja daje zavisnost isparavanja od različitih faktora glasi:

$$M = KS\frac{(E-e)}{H} \qquad (5,1)$$

gde je M — količina vode koja isparava u jedinici vremena; S — veličina površine sa koje se vrši isparavanje; $(E-e)$ — deficit vlažnosti; H — barometarski pritisak; K — konstanta koja zavisi od vetra i oblika površine. Detaljnijim ispitivanjem je utvrđeno da isparavanje zavisi i od oblika površina koja isparava, a zavisnost od oblika površine nije linearna kao što je dato formulom.

To se može objasniti time što uslovi za difuziju pare nisu isti na čitavoj površini; oni su bolji na krajevima nego na sredini.

Veliki uticaj na brzinu isparavanja imaju i krajevi suda koji se uzdižu iznad površine koja isparava.

Dalje, isparitelj u zaklonu može leti da da za 40% manje isparavanje nego isparitelj postavljen na otvorenom prostoru.

Pri određivanju stvarnog isparavanja, koje se dešava u prirodi, postoje velike teškoće, jer se isparavanje iz isparitelja uvek razlikuje od stvarnog isparavanja u prirodnim uslovima. Ma koji isparitelj daje samo isparavanje sa svoje površine, tj. neku veličinu koja jedino ima neke veze sa stvarnim isparavanjem u prirodi.

Da bi se dale stvarne veličine isparavanja potrebno je uvesti redukcione koeficijente.

Veličina redukcionog koeficijenta nije jednaka za različite tipove instrumenata i njegovo određivanje predstavlja vrlo težak zadatak.

Da bi smo dobili zavisnost intenziteta isparavanja od veličine površine sa koje voda isparava uzećemo dva kruga poluprečnika r i R. Vodena para koja ispari sa površine tih krugova difunduje preko rubova. Difuzija će biti srazmerna dužini tih rubova. Ako sa M obeležimo masu isparene

vode sa čitave površine kruga, sa m masu sa jedinice površine, a sa μ masu vodene pare koja u sekundi pređe preko jedinične dužine luka koji ograničava datu površinu, biće:

$$M_1 = m_1 r^2 \pi = \mu\, 2r\, \pi; \quad M_2 = m_2 R^2 \pi = \mu\, 2R\, \pi \tag{5,2}$$

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{R}{r} \tag{5,3}$$

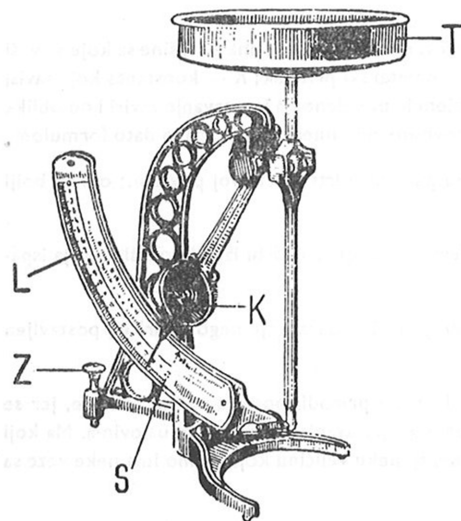
Slično se može videti da će isparavanje sa jedne eliptične površine biti veće od isparavanja sa jedne kružne površine, jer elipsa ima veći obim pri istoj površini.

iz napred navedenog se vidi, da isparavanje sa isparitelja mora da bude intenzivnije nego isparavanje sa veće vodene površine, pri inače istim uslovima.

Redukcioni koeficijent se dobija tako što se vrše uporedna merenja isparavanja sa površine vode u isparitelju i sa površine nekog bazena. Naime, merenjima je utvrđeno, da pri dovoljnoj veličini bazena uticaj difuzije preko ruba, koji je napred opisan, postaje sve manji. Zato je dovoljno uzeti bazen površine nekoliko stotina kvadratnih metara, da bi se dobilo približno isto isparavanje po jedinici površine kao i sa površine jezera. Ako se istovremeno meri promena nivoa vode u bazenu i isparavanje po isparitelju, može se dobiti redukcioni koeficijenat, koji je dat kao odnos isparavanja sa površine bazena prema isparavanju sa isparitelja.

ISPARITELJI

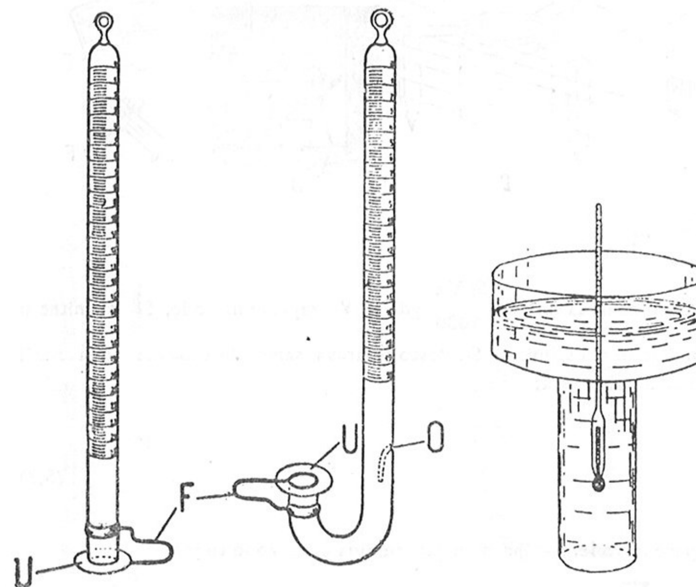
Vildov isparitelj se sastoji od tasa sa vodom, koji se nalazi na osloncu, na kome se nalazi i kazaljka (sl. 1—V). U tas se sipa voda i kada je on pun, kazaljaka dolazi do vrha skale gde je nula. Kada voda isparava kazaljka pada. Instrument se stavlja u poseban meteorološki zaklon da isparavanje ne bi uticalo na pokazivanje psihrometra.



Slika 1 — V

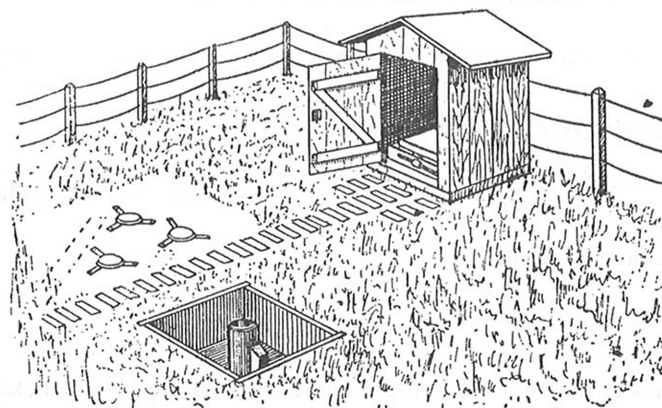
Vildov isparitelj se postavlja u zaklon zajedno sa Pišeovim ispariteljem. Ovaj isparitelj se sastoji od epruvete napunjene vodom, a na otvorenom kraju se nalazi upijač, koji je neprekidno vlažan. Zimi postoji opasnost od mraza, pa se ovaj isparitelj ne upotrebljava, jer bi došlo do pucanja stakla (sl. 2—V).

Popovljevim ispariteljima određuje se isparavanja sa tla (sl. 4 i 5—V). Na odnu suda ukopanog u zemlju nalazi se gusta žičana mreža, a u njemu se nalazi zemlja ista kao i u okolini. U sudu ispod njega se sakuplja voda koja se cedi iz prvog suda. Za ovaj isparitelj važi formula: $M = R - G$



Slika 2 — V

Slika 3 — V



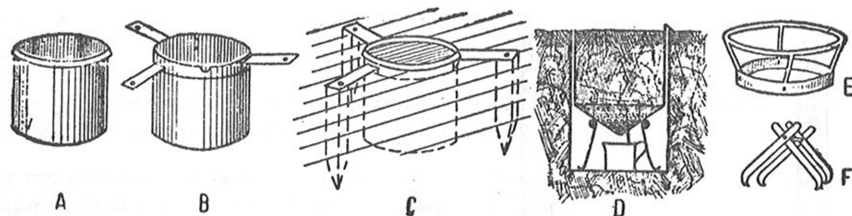
Slika 4 — V

gde je R — količina padavina, M — isparavanje. Razlika u težinama sudova posle i pre padavina daje razliku padavina i isparavanja — G.

$$G_2 - G_1 = G = R - M \tag{5,2}$$

gde je G_1 — težina svih sudova pre padavina, G_2 — težina svih sudova posle padavina i isparavanja. Naravno, potrebno je uporedno merenje padavina.

Na morskim brodovima se koriste isparitelji kod kojih se uzima u obzir promena saliniteta vode. U staklenom sudu se nalazi morska voda i areometar kojim se određuje gustina vode. (sl. 3—V). Voda će isparavati, pa se menja salinitet i gustina će biti veća. Tako se može izračunati



Slika 5—V

koliko je vode isparilo. Ukupna masa soli je: $\frac{S_1 V\alpha}{1000}$ gde je V—zapremina vode, S_1—salinitet u početku, α—gustina slane vode pri salinitetu S_1. Pošto isparava samo destilovana voda znači da kolčina soli posle 24 sata ostaje ista:

$$\frac{S_2\left(V\alpha-\frac{V}{\delta}\right)}{1000} \tag{5,3}$$

gde je v—zapremina isparene vode, δ—specifična zapremina čiste vode te je:

$$S_1 V\alpha = S_2\left(V\alpha-\frac{V}{\delta}\right) \tag{5,4}$$

gde je S_1— i S_2 očitavano na aerometru, a V i α su dati početnim uslovima pa je:

$$V=\frac{(S_2 V\alpha - S_1 V\alpha)\,\delta}{S_2}; \quad V=\sigma h \tag{5,5}$$

gde je σ — površina gornjeg otvora, h—promena nivoa.

$$h=\frac{V}{\sigma}=\frac{(S_2 V\alpha - S_1 V\alpha)\,\delta}{S_2\sigma}=\frac{\delta V\alpha\,(S_2-S_1)}{\sigma S_2} \tag{5,6}$$

za praktičan rad se formula uprošćuje:

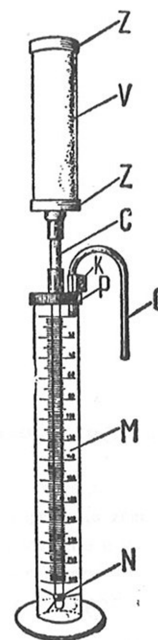
$$h=K\frac{S_2-S_1}{S_2}$$

Za merenje isparavanja se koriste i isparitelji kod kojih se isparavanje vrši sa površine tela, koje apsorbuje vlagu iz rezervoara (sl. 6—V). Isparavanje se može registrovati i evaporigrafom. Najviše su u upotrebi evaporigrafi zasnovani na principu Vildovog isparitelja (sl. 7—V).

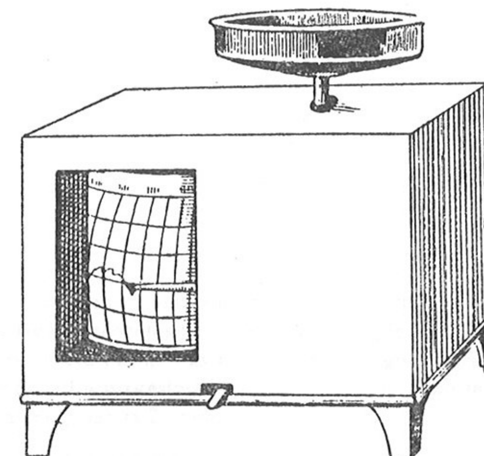
APSOLUTNA MERENJA ISPARAVANJA

Rezultati koji se dobijaju pomoću napred navedenih instrumenata ne pretstavljaju stvarno isparavanje, bez obzira da li se radi o kopnu ili vodenoj površini. Postoji drugi, indirektan, način određivanja isparavanja. Transport vodene pare sa površine tla u vis zavisi od turbulencije vazduha. Kada ne bi postojalo isparavanje, vodena para koja bi se nalazila pri tlu, brzo bi bila raspoređena ravnomerno po svim visinama do kojih postoji intenzivno mešanje vazduha.

Ako isparavanje tla postoji, uspostaviće se gradijent specifične vlažnosti. Tj. vlažnost će sa visinom opadati. Usled toga postojaće neprekidan transport vodene pare naviše, koji mora biti jednak isparavanju sa površine. Transport će biti utoliko veći ukoliko je veći gradijent specifične vlažnosti.



Slika 6—V



Slika 7—V

Merenje isparavanja sastoji se u merenju transporta vodene pare naviše. Za to je potrebno izmeriti vertikalni gradijent specifične vlažnosti i vertikalni gradijent brzine vetra, od kojih zavisi turbulentnost atmosfere. Za ta merenja se mogu koristiti standardni instrumenti, ali se zahteva visoka tačnost. Za merenje gradijenta vlažnosti najbolje je koristiti psihrometar sa termoelementima. O tome će biti detaljnije rečeno u poglavljima o merenju vertikalnih gradijenata i strukture atmosfere.

VI

MERENJE ZRAČENJA

OPŠTI POJMOVI

Zračenje predstavlja jedan od najvažnijih oblika razmene toplotne energije u atmosferi. Poznavanje polja zračenja bitno je za različite oblasti meteorologije. Pored klimatologije i opšte cirkulacije u novije vreme polje zračenja postaje sve važnije i za srednjoročnu prognozu, jer se razmena energije zračenjem ne može ignorisati u procesima koji traju više dana, kako je redovno postupano u dinamičkim modelima prognoze za 24 časa.

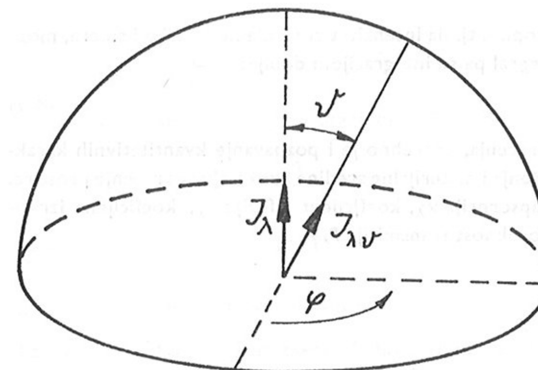
Osnovna kvantitativna karakteristika polja zračenja je intenzitet zračenja I. Za monohromatsko zračenje talasne dužine λ, koje se iz tačke Q prostire u smeru ϑ obeležava se $I_\lambda (Q,\vartheta)$.

Druga važna karakteristika polja zračenja je fluks zračenja. Fluks kroz polusferu sa centrom u tačci Q može se izračunati na sledeći način.

Zračenje u smeru ϑ biće:

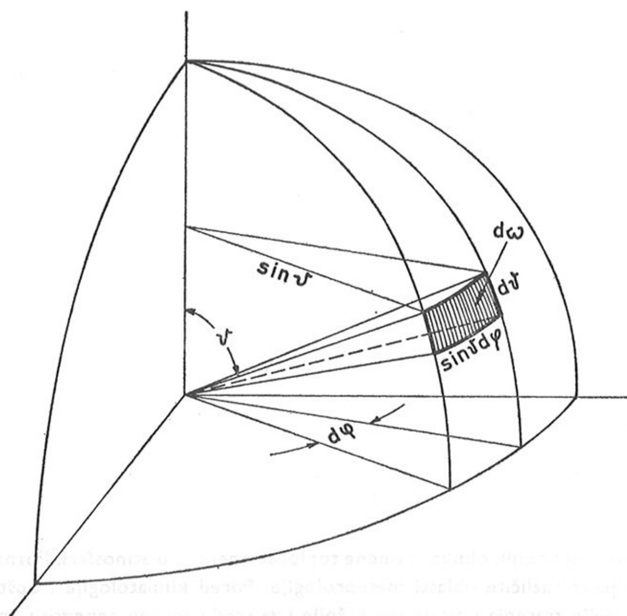
$I_{\lambda\vartheta} = I_\lambda \cos \vartheta$

ako je I_λ zračenje u smeru normale na površinu (Sl. 1—VI).



Slika 1 — VI

Elementarni prostorni ugao dat je na slici 2—VI.



Slika 2 — VI

Tako se elementarni fluks kroz površinu može dobiti kao:

$dF_\lambda = I_{\lambda\vartheta}\, d\,\omega = I_\lambda \cos\vartheta \sin\vartheta\, d\,\vartheta\, d\,\varphi$

Ako se izvrši integracija oko čitavog horizonta, tj. po φ (azimut) i po visini (ugao elevacije) ϑ, dobiće se:

$$F_\lambda = \int_0^{2\pi} d\,\varphi \int_0^{\frac{\pi}{2}} I_\lambda (Q, \vartheta, \varphi) \cos\vartheta \sin\vartheta\, d\,\vartheta \qquad (6,1)$$

to je ukupni fluks kroz polusferu oko tačke *Q*.

Ako se uzme da je polje zračenja izotropno, tj. da intenzitet zračenja ne zavisi od smera, može se I_λ iz jednačine (I, 1) izvući pred integral pa se integracijom dobija:

$$F_\lambda = \pi\, I_\lambda \qquad (6,2)$$

Pored osnovnih karakteristika polja zračenja, potrebno je i poznavanje kvantitativnih karakteristika međusobnog dejstva polja zračenja i materijalne sredine kroz koju se zračenje prostire. Glavne karakteristike su: koeficijent apsorpcije $\varkappa_\lambda$, koeficijent difuzije σ_λ, koeficijent izračivanja r_λ, sposobnost reflekcije R_λ i sposobnost transmisije *P*.

Definicije ovih veličina su:

Koeficijent apsorpcije:

$$\varkappa_\lambda = \frac{A}{I} \qquad (6,3)$$

gde je *A* — apsorbovana energija, *I* — ukupan intenzitet zračenja.

Koeficijent difuzije:

$$\sigma_\lambda = \frac{D}{I} \qquad (6,4)$$

gde je *D* — rasuta energija zračenja.

Sposobnost refleksije ili albedo:

$$R_\lambda = \frac{R}{I} \qquad (6,5)$$

gde je *R* — reflektovana energija zračenja.

Radi određivanja sposobnosti apsorpcije ili transmisije kroz proizvoljan sloj materije, uvodi se koeficijent apsorpcije:

$$A(\omega) = \frac{I(0) - I(\omega)}{I(0)} \qquad (6,6)$$

gde je ω količina materije koja apsorbuje zračenje, *I* (0), *I* (ω) — intenziteti na ulazu i na izlazu iz sloja.

Koeficijent transmisije je očevidno:

$$P(\omega) = 1 - A(\omega) \qquad (6,7)$$

OSNOVNI ZAKONI TOPLOTNOG ZRAČENJA

1. Zakon Kirhofa. U homogenoj sredini koja se nalazi u stanju termodinamičke ravnoteže, intenzitet toplotnog zračenja ne zavisi od smera. Promena intenziteta zračenja duž zraka nastaje usled apsorpcije i usled zračenja sloja kroz koji zrak prolazi. Izračivanje sloja dato je sa:

$$I_\lambda = \eta_\lambda \cdot m \qquad (6,8)$$

gde je I_λ ukupno izračivanje sloja, *m* — masa vazduha koji zrači, η_λ — koeficijent izračivanja. Apsorpcija je srazmerna intenzitetu zračenja E_a koje prolazi kroz sloj mase *m*:

$$A_\lambda = -m\, \varkappa_\lambda\, E_\lambda \qquad (6,9)$$

Promena intenziteta će biti data kao zbir ove dve veličine

$$\Delta E_\lambda = I_\lambda + A_\lambda$$

$$\Delta E_\lambda = \eta_\lambda\, m - \varkappa_\lambda\, m\, E_\lambda \qquad (6,10)$$

U slučaju termodinamičke ravnoteže biće $\Delta E_\lambda = 0$, tj. nema ni gubitka ni prihoda energije.

Ako je: $\Delta E_\lambda = 0$ (6,11)

biće: $\frac{\eta_\lambda}{\varkappa_\lambda} = E_\lambda (T)$ (6,12)

gde je *T* — apsolutna temperatura.

Formula (6, 12) predstavlja zakon Kirhofa kojim se utvrđuje da je u slučaju termodinamičke ravnoteže, tj. i slučaju jednakosti emisije i apsorpcije, odnos koeficijenta emisije i apsropcije predstavljen funkcijom talasne dužine i temperature.

Ako je u pitanju apsolutno crno telo, biće koeficijent apsorpcije maksimalan, tj. jednak 1. U tom slučaju je i koeficijent emisije maksimalan, pa je očevidno da apsolutno crno telo zrači intenzivnije pri istoj temperaturi, od drugih tela.

U atmosferi ne postoji termodinamička ravnoteža, pa prema tome, strogo uzev predhodne jednačine predstavljaju samo aproksimaciju. Jedan od glavnih uzroka nepostojanja termodinamičke ravnoteže su vertikalni termički gradijenti. Usled toga ne može se smatrati da postoji izotropnost, tj. intenzitet zračenja veoma zavisi od smera, pošto je u različitim smerovima i temperatura vazduha različita.

2. **Plankov zakon.** U jednačini (6, 12) koja predstavlja zakon Kirhofa javlja se funkcija $E_\lambda (T)$, koja zavisi od temperature T i talasne dužine λ. To je količina emitovane energije pri temperaturi T i talasnoj dužini λ.

Teorijsko izvođenje funkcije E_λ dao je Maks Plank polazeći op pretpostavke o kvantnom karakteru procesa zračenja. Ova funkcija ima oblik:

$$E_\lambda (T) = \frac{2\,h\,c^2\,\lambda^{-5}}{e^{\frac{hc}{\lambda KT}} - 1} \qquad (6,13)$$

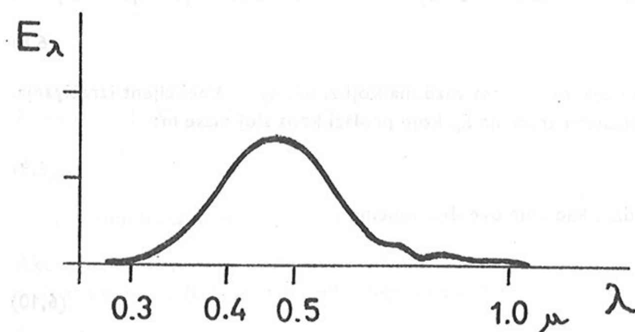
gde je h — Plankova konstanta

c — brzina svetlosti, K — Bolcmanova konstanta.

Plankova jednačina (6, 13) može se pisati i u obliku:

$$\frac{E_\lambda (T)}{T^5} = \frac{2\,hc^2\,(\lambda\,T)^{-5}}{e^{\frac{hc}{\lambda KT}} - 1} \qquad (6,14)$$

Jednačina (6, 14) daje relativan intenzitet zračenja.



Slika 3 — VI

Grafik te funkcije predstavljen je na sl. 3—VI.

3. **Stefan-Bolcmanov zakon.** Ako se integriše jednačina (6,13) po svim talasnim dužinama od 0 do ∞dobiće se:

$$E = \int_0^\infty E_\lambda \, d\lambda = \int_0^\infty \frac{2\,h\,c^2\,d\,\lambda}{\lambda^5 \left(e^{\frac{hc}{\lambda KT}} - 1\right)} \qquad (6,15)$$

Uvođenjem zamene:

$$x = \frac{R_1\,c}{\lambda\,kT}$$

dobija se:

$$E = \frac{2k^4\,T^4}{c^2\,h^3} \int_0^\infty \frac{x^3\,dx}{e^x - 1}$$

Integral u ovoj jednačini jednak je $\frac{\pi^4}{15}$, pa se dobija

$$E = \frac{2\,\pi^4\,K^4}{15\,c^2\,h^3}\,T^4 \qquad (6,16)$$

Prema jednačini (I, 2) fluks je srazmeran intenzitetu zračenja, pa se za fluks zračenja apsolutno crnog tela dobija:

$$F = \pi\,E = \sigma\,T^4 \qquad (6,17)$$

gde je:

$$\sigma = \frac{2\,\pi^5\,k^4}{15\,c^2\,h^3} \qquad (6,18)$$

Stefanova konstanta σ jednaka je $5{,}75.10^{-5}$ erg cm^{-2} sec^{-1} $grad^{-4}$

4. **Vinov zakon.** Ako se diferencira Plankova jednačina (6, 13) po talasnoj dužini λ, može se odrediti λ_m, tj. talasna dužina koja odgovara maksimumu funkcije $E_\lambda (T)$ za određeno T.Tako se dobija

$$\lambda_m = \frac{a}{T} \qquad (6,19)$$

gde je a = 0,2897 cm grad.

Dalje je

$$E_{\lambda,m} = c^4\,T^5 \qquad (6,20)$$

Relacija (6,19) zove se Vinov zakon pomeranja. Ona nam pokazuje da je talasna dužina maksimalne energije zračenja obrnuto srazmerna temperaturi. To znači da sa porastom temperature opada talasna dužina maksimalne energije, odnosno višim temperaturama odgovaraju kraće talasne dužine. Atmosfera i zemljina površina zrače pretežno infracrvene talase, dok sunce ima maksimum u vidljijvom delu spektra. To je očevidno u skladu sa Vinovim zakonom, jer je temperatura sunca oko 6000°K, a atmosfere ispod 300°K.

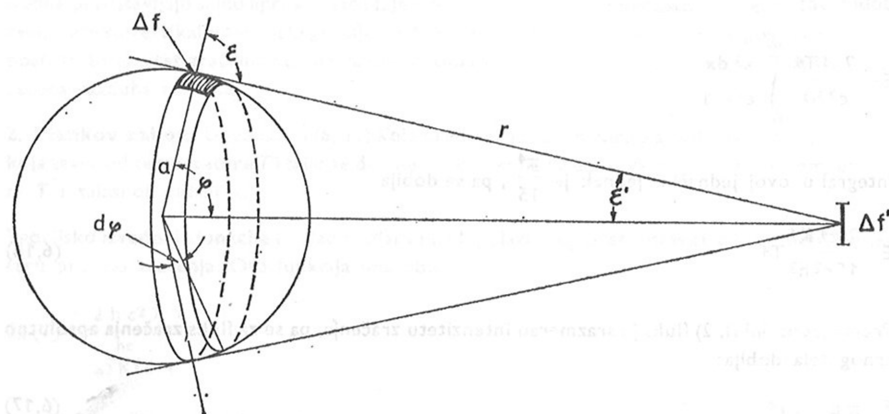
Maksimalni intenzitet zračenja apsolutno crnog tela srazmeran je, prema jednačini (6, 20), petom stepenu apsolutne temperature.

SOLARNA KONSTANTA

Ako se pođe od pretpostavke da sunce zrači kontinuirano, tj. da je „mirno" može se izračunati količina energije koju ono emituje u jedinici vremena. Poluprečnik sunca neka je a, elemenat površine na zemlji $\Delta f'$, rastojanje od centra sunca je R (Sl. 4—VI).

Svaki elemenat površine sunca Δf emituje prema zemlji $\Delta f'$ određenu količinu energije. Svi elementi Δf leže na sfernom prstenu čiji je centralni ugao $d\varphi$, a površina je:

$$d\,O=(2\,a\,\pi\,\sin\varphi)\,a\,d\,\varphi$$



Slika 4 — VI

Količina zračenja od površine Δf prema $\Delta f'$ je:

$$d\,E_{ff}'=E_s\,\Delta f\cos\varepsilon\,d\,\omega_f'; \quad d\,\omega_f'=\frac{\Delta f'\cos\varepsilon'}{r^2}$$

$$d\,E_{ff}'=E_s\,\frac{\cos\varepsilon\cos\varepsilon'}{r^2}\,\Delta f\,\Delta f'$$

gde je E_s intenzitet zračenja jedinice sunčeve površine.

Ako pretpostavimo da je $E'=0$, $\varepsilon'=\varphi$ i $r=R$, što važi približno, dobiće se za zračenje sa kružnog prstena $d\,O$:

$$d\,E_{of}'=2\pi\,a^2\,E_s\,\frac{\Delta f'}{R^2}\cos\varphi\sin\varphi\,d\,\varphi$$

integrisanjem po φ od 0 do $\frac{\pi}{2}$ dobija se:

$$E=2\pi\,a^2\,E_s\,\frac{\Delta f'}{R^2}\int_0^{\frac{\pi}{2}}\sin\varphi\,d\,(\sin\varphi)=a^2\,\pi\,E_s\,\frac{\Delta f'}{R^2}$$

Ako je $\Delta f'$ jednako 1 cm², biće intenzitet zračenja sunca u jedinici vremena na površinu normalnu na sunčeve zrake, na gornjoj granici atmosfere:

$$I_0=\frac{a^2\,\pi}{R^2}\,E_s$$

Veličina I_0 naziva se solarna konstanta. Vidimo po faktoru $a^2\pi$ da sunce zrači kao ploča poluprečnika a. U stvarnosti razlika ipak postoji, jer i sunce ima atmosferu, pa zraci koji dolaze sa periferije sunčevog „diska“ prolaze duži put kroz sunčevu atmosferu, nego zraci koji dolaze iz „centra“ tog „diska“. Zato je intenzitet zračenja iz centra jači nego sa periferije.

Pošto se emisiona moć sunca E_s menja u toku vremena, menja se i solarna konstanta I_0. Takve promene su izgleda u prvom redu posledica promene propustljivosti sunčeve atmosfere, jer se E_s skoro uopšte ne menja. Solarna konstanta se odnosi na srednje rastojanje zemlje od sunca.

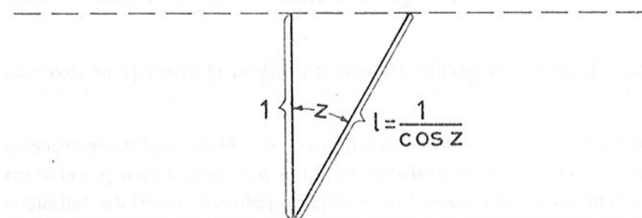
ZAKON BUGERA

Do pojave prvih veštačkih satelita solarnu konstantu nije bilo moguće meriti direktno. Pošto slabljenje zračenja zavisi od puta kroz atmosferu, može se vršiti merenje pri različitim visinama sunca, a zatim izračunavati solarna konstanta.

Ako se zemljina površina u okolini tačke osmatranja predstavi pomoću horizontalne ravni i ako se put kroz atmosferu koji prođe sunčev zrak kada je sunce u zenitu označi sa l biće:

$$l=\frac{1}{\cos z}$$

gde je l put kroz atmosferu, a z — zenitno rastojanje sunca (Sl. 5—VI).



Slika 5 — VI

Pošto intenzitet zračenja zavisi od puta po Bugerovom zakonu:

$$I=I_0\,e^{-\varkappa\,l}$$

gde je $\varkappa$ — koeficijent ekstinkcije, biće:

$$I=I_0\,e^{-\varkappa\sec z}$$

Ako se pretpostavi konstantnost koeficijenta $\varkappa$, može se merenjem intenziteta pri tlu za različite vrednosti visine sunca z, odrediti I_0. Da bi se moglo pretpostaviti konstantnost potrebno je vršiti merenje na visokim planinskim vrhovima.

Pretpostavka o ravnoj zemljinoj površini, a time i ravnoj gornjoj granici atmosfere utiče bitno tek pri niskim položajima sunca.

Koeficijent ekstinkcije $\varkappa$ je ustvari zbir koeficijenta apsorpcije i koeficijenta rasipanja.

ZRAČENJE U TROPOSFERI

Za atmosferu kao izvori zračenja dolaze u obzir:

1. sunčevo zračenje
2. zračenje tla.

Ova dva fluksa energije podvrgnuta su sledećim procesima:

1. apsorpcija od strane suvog vazduha,
2. rasipanje na molekulima suvog vazduha i vodene pare,

3. rasipanje i difuzna refleksija, kao i apsorpcija od strane čvrstih i tečnih čestica

4. apsorpcija od strane vodene pare ugljendioksida.

Za sunčevo zračenje koje je pretežno kratkotalasno dolaze u obzir tačke 2 i 3. Rasipanjem na molekulima vazduha i vodene pare tumači se plava boja neba.

Slabljenje prouzrokovano tačkom 3. je veoma promenljivo. Slabljenje prouzrokovano vodenim kapima magle i oblaka sastoji se uglavnom od refleksije (albedo) i iznosi oko 80%.

Zračenje zemlje je pretežno dugotalasno i slabi pretežno zbog tačke 4. Slabljenje usled apsorpcije od strane suvog vazduha je beznačajno, kako za kratkotalasno tako i za dugotalasno zračenje.

Interesantno je da postojani gasovi atmosfere azot i kiseonik ne zrače u infracrvenom (toplotnom) delu spektra. Najintenzivnije zrače vodena para, ugljendioksid i ozon. Zbog toga ovi gasovi igraju najvažniju ulogu u toplotnom bilansu atmosfere, iako je njihov procentualni udeo u masi atmosfere veoma mali.

Ukupni silazni fluks toplotnog zračenja navedenih gasova u atmosferi naziva se protivzračenje atmosfere.

Uzlazni fluks toplotnog zračenja na nivou gornje granice atmosfere, je energija nepovratno emitovana u vasionu.

Zemljina površina kao izvor toplotnog zračenja predstavlja sivo telo. Fluks toplotnog zračenja zemljine površine obično se naziva sopstveno zračenje zemljine površine. Pošto je relativna sposobnost izračivanja (i apsorpcije) zemljine površine, manja od jedinice, dolazi do delimične refleksije protivzračenja atmosfere od strane zemljine površine. Zbog toga treba uzimati u obzir postojanje reflektovanog toplotnog zračenja.

Za praktične svrhe najvažnije je odrediti veličinu razmene toplote zračenja između zemljine površine i atmosfere. Ta veličina se karakteriše pomoću pojma o efektivnom izračivanju. Efektivno izračivanje zemljine površine je razlika između sopstvenog izračivanja zemljine površine i dela protivzračenja atmosfere koji biva apsorbovan od strane zemljine površine. Međutim, neki put se koriste i druge definicije efektivnog izračivanja kao razlike uzlaznog i silaznog fluksa toplotnog izračivanja na zemljinoj površini. U suštini te dve definicije nisu različite, jer se u oba slučaja radi o bilansu zračenja na zemljinoj površini.

Rečeno je već da najviše u atmosferi apsorbuju zračenje vodena para i ugljendioksid. Međutim, postoji i opseg talasnih dužina u infracrvenom delu spektra za koji je atmosfera potpuno providna.
Mogu se izdvojiti tri vrste oblasti u dugotalasnom spektru koje su od posebnog značaja za razmenu energije između zemljine površine i atmosfere:

1. Potpuna apsorpcija u atmosferi zračenja u opsegu od 5,5 od 7 μ i iznad 14 μ.

2. Nepotpuna apsorpcija između 4,0 i 5,5 μ, od 7,0 od 8,5 i od 11 do 14 μ.

3. Potpuna propustljivost ispod 4 μ i između 8,5 i 11 μ.

Nepotpuna apsorpcija navedena pod 2. zavisi u prvom redu od količine vodene pare u atmosferi. Apsorpcioni koeficijenti tečne vode u atmosferi su tako veliki, da oblaci i magle apsorbuju i emituju praktično kao apsolutno crna tela.

Svaki cm² zemljine površine primi od sunca 0,29 cal/min. Zato važi:

$$\sigma T^4 = 0{,}29$$

Tom zračenju odgovara $T=243°K$ i to se zove efektivna temperatura zemlje. To je ustvari srednja temperatura troposfere u kojoj se temperature u grubom kreću od +20°C do −50°C.

Temperatura stratosfere je uglavnom konstantna. Ona prima navedenu količinu energije od troposfere kroz tropopauzu. Sa druge strane, stratosfera istu količinu energije emituje u međuplanetarni prostor. Tako se može postaviti jednačina:

$$\sigma T_t^4 = 2\sigma T_s^4$$

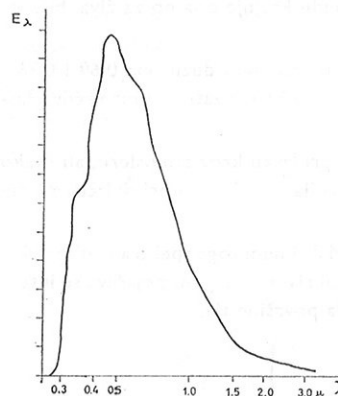
tj. količina energije koju šalje troposfera temperature T_t, kroz tropopauzu, jednaka je količini energije koju emituje stratosfera temperature T_s, kroz donju i gornju granicu.
Odatle se može izračunati T_s:

$$T_s = \frac{T_t}{\sqrt[4]{2}}$$

Videli smo da je $T_t=243°K$, pa se dobija $T_s=205°K$, odnosno oko −70°C, što dobro odgovara osmotrenim vrednostima.

SPEKTAR ZRAČENJA U ATMOSFERI

Spektar sunčevog zračenja na gornjoj granici atmosfere ima oblik dat Plankovom jednačinom. Maksimum toga spektra je oko talasne dužine 0,5 μ (Sl. 6—VI). Spektar ipak nije tako gladak



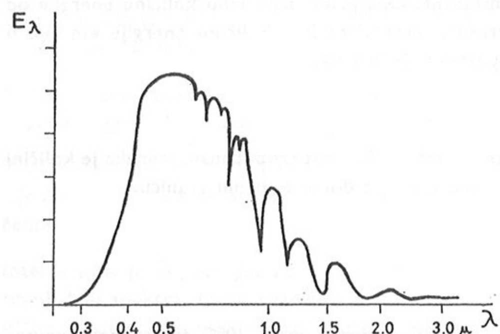
Slika 6 — VI

kao što je prikazan na toj slici. Naime, pri prolasku kroz sunčevu atmosferu koja se sastoji od gasova na visokoj temperaturi, pojedine talasne dužine bivaju potpuno apsorbovane. To su tzv. Fraushoferove linije i one odgovaraju talasnim dužinama koje gasovi sunčeve atmosfere apsorbuju (i emituju).

Posle prolaska kroz zemljinu atmosferu spektar će pretprpeti znatne promene. Pošto se atmosfera sastoji od gasova na znatno nižoj temperaturi i u molekularnom obliku, apsorpcija neće nastupiti samo za usko određene talasne dužine, već će pojasevi apsorcije biti širi. Takođe će apsorpcije biti nejednake za različite talasne dužine. To je tzv. selektivna apsorpcija. Osim ove apsorpcije u atmosferi nastupa i tzv. neselektivna apsorpcija, na česticama aerozagađenosti ili različitih drugih suspenzija u atmosferi. Zbog toga spektar zračenja posle prolaska kroz atmosferu izgleda kao na sl. 7—VI.

Njegove karakteristike u odnosu na spektar zračenja na gornjoj granici atmosfere su: manji apsolutni iznos energije za pojedine talasne dužine, izrazito apsorbovani delove spektra, pomeranje maksimuma u desno, usled jače difuzije manjih talasnih dužina. U ovom delu spektra u kome preovlađuju talasne dužine vidljive svetlosti najjača je apsropcija od strane ozona, kiseo-

nika i ugljendioksida. Razlika između načina apsorbovanja u sunčevoj i zemljinoj atmosferi nastupa zbog toga što se sunčeva atmosfera sastoji od atoma, a zemljina od molekula.



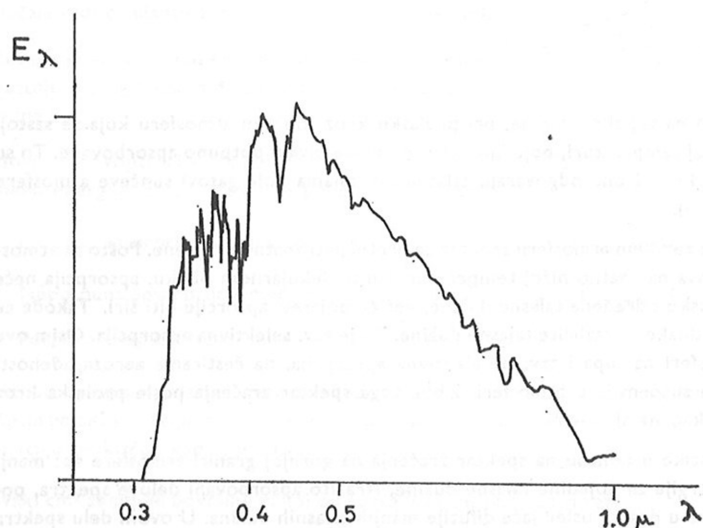
Slika 7 — VI

Kraktotalasni spektar se oštro prekida ispod talasnih dužina u ultraljubičastom delu spektra, koje su jako apsorbovane od strane ozona. Može se smatrati da slojevi ozona na visinama od 10 do 40 km. štite živi svet na zemljinoj površini od uništavajućeg dejstva ovih ultrakratkih talasa. Zbog toga je izučavanje ozonosfere u novije vreme dobilo i strategijski značaj, jer bi eventualno veštačko delovanje na ove slojeve moglo da bude krajnje opasno za živa bića na zemlji.

Najvažnije trake apsorpcije u kratkotalasnom spektru su na talasnim dužinama 0,69 i 0,76 μ prouzrokovane kiseonikom i trake apsorpcije vodene pare za 0,72 μ, a zatim za niz većih talasnih dužina.

Osetan deo kratkotalasnog zračenja biva difuzno rasut pri prolasku kroz atmosferu, ali i tako zaobilaznim putem dolazi do zemljine, površine. Difuzna radijacija postoji i pri oblačnom vremenu, pa je čak i jača nego pri vedrom vremenu.

Na sl. 8—VI je prikazan grafik energije difuznog zračenja. Maksimum toga spektra je oko 0,4 μ. Na dužinama oko 0,3 i 0,9 μ se približava nuli. Ako je tlo pokriveno snegom pojačava se intenzitet difuznog zračenja zbog pojačanja refleksije, tj., albeda površine tla.



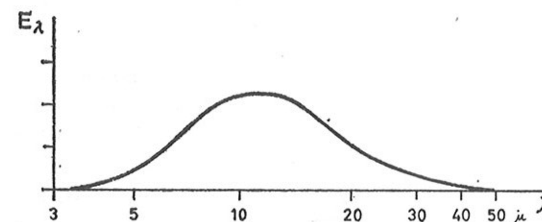
Slika 8 — VI

U ultraljubičastom delu spektra difuzno zračenje čak višestruko premaša direktno zračenje. Spektar dugotalasnog zračenja, predstavlja zračenje atmosfere i zemljine površine. Pošto se ovde radi o relativno niskim temperaturama to je i maksimum spektra na talasnim dužinama oko 10 μ. Vrednost od 10 μ dobija se ako uzmemo po Vinovom zakonu:

$$\lambda_{max} = \frac{a}{T}$$

gde je $a = 0,2897$ cm. grad. Tako se dobija za $T = 300°K$, Sl. 9—VI,

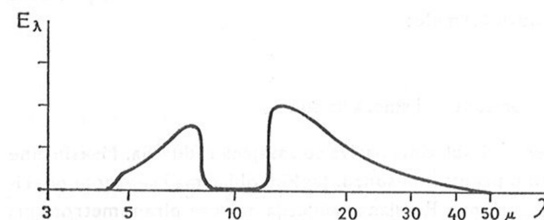
$$\lambda_{max} = 10^{-3}\ \text{cm} = 10\ \mu$$



Slika 9 — VI

Pri vedrom vremenu spektar dugotalasnog zračenja primljenog na donjoj granici atmosfere jako će se razlikovati od navedenog potpunog spektra.

U pojasu talasnih dužina od 8 do 12 μ, tj. u oblasti atmosferskog okna skoro sva energija odlazi direktno sa zemljine površine jer je gasovi atmosfere ne apsorbuju. Zato pri oblačnom vremenu spektar dugotalasnog zračenja ima oblik predstavljen na sl. 10—VI. Ovaj spektar se zove spektar kontrazračenja vedre atmosfere.



Slika 10 — VI

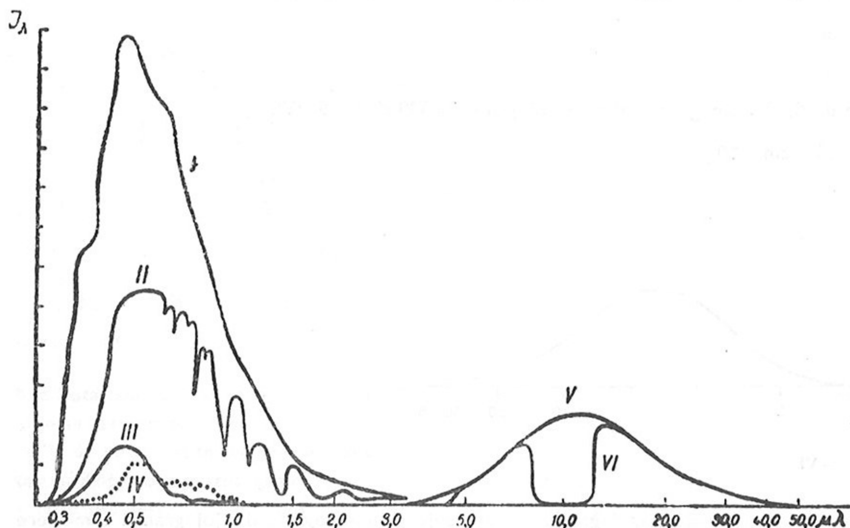
Na slici 11—VI prikazani su zajedno napred diskutovani spektri.

AKTINOMETRIJA

Osnovni zadatak aktinometrije je merenje zračne energije koju neka površina prima ili gubi u toku nekog vremena. Kao jedinica vremena u aktinometriji je usvojen jedan minut. Obično aktinometrijski instrumenti mere površinsku gustinu struje, koja je jednaka struji zračne energije kroz 1 cm² horizontalne površine ($I = F/S$ kal/cm² min) Veličina I naziva se intenzitet radijacije.

Za meteorologiju ima najveći značaj toplotno dejstvo radijacije u nekoj tački na duži period vremena. Zbog toga se koristi tzv. suma zračenja, koja predstavlja proizvod iz intenziteta i vremena. Intenzitet sunčevog zračenja izvan zemljine atmosfere pri srednjem rastojanju zemlje

od sunca naziva se solarna konstanta S_0 i iznosi 1,98 cal/cm² min za površinu normalnu na sunčeve zrake. Na morskom nivou pri visini sunca od 55° intenzitet sunčevog zračenja ne prelazi 1,5 kal/cm² min.



Slika 11 — VI

Zračenje se meri u apsolutnim jedinicama pirheliometrom, a u relativnim- aktinometrom. Da bi se merenje dobiveno aktinometrom moglo upotrebiti za određivanje radijacije, mora se upoređivati sa dobivenim sa pirheliometrom (naravno samo prilikom baždarenja). Vertikalna komponenta sunčeve radijacije S obično se ne meri direktno nego se izračunava iz podataka dobivenih pomoću aktinometra na osnovu formule:

$$S = S_0 \sin h_0$$

gde je h_0 visina sunca, tj., ugao između horizontale i smera ka suncu.

Deo sunčeve radijacije rasejan atmosferom i oblacima naziva se rasejana radijacija. Maksimalne vrednosti rasejane radijacije su u Arktiku pri niskom suncu, tankim oblacima i snežnom pokrivaču. One dostižu vrednost od 1,0 kal/cm² min. Rasejana radijacija meri se piranometrom pri zaklonjenom suncu. Otkriven piranometar meri sumarnu kratkotalasnu radijaciju ili insolaciju ($Q = S + D$) gde je D rasejana radijacija.

Deo radijacije koju zemlja ne apsorbuje, predstavlja reflektovanu kratkotalasnu radijaciju. Njen spektar je nešto pomeren prema dužim talasima prilikom reflektovanja od tamnih površina i prema kratkim talasima pri reflektovanju od snega. Intenzitet refleksije meri se piranometrom kome je prijemnik okrenut na dole.

Odnos intenziteta reflektovane radijacije prema sumarnoj radijaciji predstavlja meru sposobnosti reflektovanja neke površine i zove se albedo. Albedo za kratkotalasnu radijaciju dat je izrazom:

$$A_k = \frac{R_k}{Q} \qquad (6.21)$$

Albedo tla se kreće u granicama od 9 do 90%, u zavisnosti od stanja tla, godišnjeg doba i visine sunca.

Razlika između sumarne i reflektovane radijacije naziva se bilans zračenja za kratke talase i obeležava se sa:

$$B_k = Q - R_k = Q(1 - A_k) \qquad (6.22)$$

Obično se smatra da aktinometrijski pribor u potpunosti apsorbuje radijaciju koja pada na njegov prijemnik, tj., da je $A = 0$. Drugim rečima prijemnik se smatra za apsolutno crno telo za koga važi Štefanov zakon:

$$E_T = \sigma T^4 \text{ cal/cm}^2 \text{ min}$$

gde je $\sigma = 8{,}26 . 10^{-11}$ cal/cm² min grad.

E_T za temperature koje vladaju na zemljinoj površini, uglavnom se sastoji od dugih infracrvenih talasa.

Noću crno telo okrenuto ka zenitu prima onaj deo dugotalasnog zračenja atmosfere koji je usmeren naniže. Taj deo zračenja atmosfere obeležava se sa E. Razlika: $E_a - E_T = E_d$ naziva se efektivna radijacija.

METODI MERENJA ZRAČENJA

Za merenje radijacije se koriste svi njeni uticaji: toplotni, električni, hemijski i fiziološki. Ovde ćemo opisati samo metode zasnovane na merenju toplote koja se razvija prilikom apsorbovanja radijacije. U različitim instrumentima se koriste svi mogući metodi merenja temperature: živini i gasni termometri, bimetalni termometri, termometri otpora.

Najviše se danas koriste termoelementi, jer im nije potreban izvor energije. Većina instrumenata zasnovanih na toplotnoj metodi merenja ima crni prijemnik radijacije. Upijanje se kreće od 0,94 do 0,97. Bolje upijanje može se postići modelom crnog tela koji se sastoji od šupljeg tela sa malim otvorom kroz koji ulazi zračenje.

a. Kalorimetrijski metod

Ako se neko masivno telo crne površine izloži radijaciji, njegova temperatura će rasti usled toga što telo prima toplotu. Ako je promena temperature mala, specifična toplota tela može se smatrati konstantnom, a gubitak toplote usled izračivanja i konvenkcije biće mali. Zbog toga pri konstantnom intenzitetu radijacije porast temperture je približno proporcionalan vrememenu, a brzina porasta je proporcionalna intenzitetu zračenja.

Ako znamo specifičnu toplotu tela c, njegovu početnu temperaturu T_1 i novu temperaturu T_2 osmotrenu posle intervala vremena τ, kao i površinu koja prima zračenje q, možemo izračunati intenzitet zračenja S po fomuli:

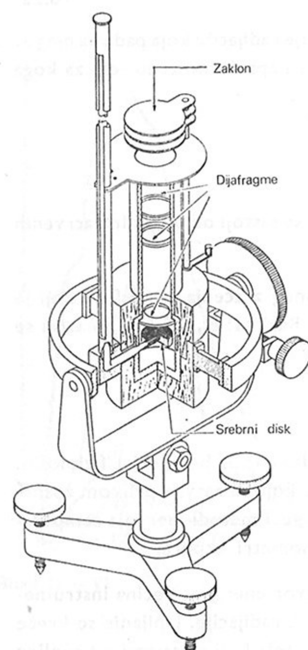
$$Sq(1 - A)\tau = c(T_2 - T_1); \quad S = \frac{c(T_2 - T_1)}{q \tau \delta} \qquad (6.23)$$

gde je koeficijent apsorpcije crne površine prijemnika označen sa

$$\delta = 1 - A$$

U praksi se to merenje komplikuje potrebom da se uračuna gubitak toplote koji prati porast temperature tela. Dok je kod najprimitivnijih pirheliometara prijemnik bio potpuno otkriven i izložen dejstvu vetra, kod savremenih aparata prijemnik je zaštićen ne samo od vetra nego i od zračenja sa strane. Disk prijemnika je zaštićen pomoću cevi sa diafragmama, koje otkrivaju samo deo neba sa radijusom od 5° oko sunca. Porast temperature određuje se osetljivim živinim termometrom sa svakih 0,1°. Njegov rezervoar je potopljen u živu, koja se nalazi u gvozdenoj kutijici zatvorenoj u srebrni disk. Osmatra se porast temperature u toku 100 sec., posle prethodnog zagrevanja od 20 sec.

Slabost toga aktinometra je u tome, što je potrebno merenje vremena sa tačnošću od 0,1 sec i očitavanje temperature do 0,01° pri brzom porastu živinog stuba (Sl. 12—VI).



Slika 12 — VI

b. Termometrijski metod

Ako se prijemnik nalazi pod dejstvom zračenja u toku dužeg vremena, sa porastom temperature tela raste i gubitak toplote, koji usporava dalji porast temperature. Pri postojanom intenzitetu zračenja prijemnik dostiže temperaturu T_c, pri kojoj su gubici toplote jednaki dovođenju toplote usled apsorbovanja zračenja. Tada prestaje dalji porast temperature i nastupa stacionarno stanje prijemnika. Gubitak toplote tela proporcionalan je razlici temperatura:

$$\Delta T = T_c - T_1$$

gde je T_1 — temperatura tela kome prijemnik temperature T_c predaje toplotu (Sl. 12—VI).

c. Metod hlađenja vodom

I u ovom metodu se meri razlika između temperature prijemnika u stacionarnom stanju i temperature tela koje prima toplotu. Toplota se od prijemnika neprekidnom strujom vode odvodi, i meri se utrošak vode u jedinici vremena, kao i razlika temperature vode pre i posle proticanja kroz prijemnik.

d. Kompenzacioni metod

Za merenje zračenja uzimaju se dva savršeno jednaka prijemnika sa površinom i koeficijentom apsorpcije b. Jedan od njih se zagreva do stacionarnog stanja pod uticajem zračenja. Drugi od njih se zagreva do iste temperature električnom strujom. Tada očevidno (sl. 15—VI) oba prijemnika primaju jednake količine toplote u jedinici vremena. Ako znamo količinu toplote koj u drugi prijemnik prima od električne struje, možemo odrediti intenzitet radijacije S, koju prima prvi prijemnik, iz jednačine:

$$S = \frac{0{,}24\, r i^2}{\tau \delta s} \qquad (6.24)$$

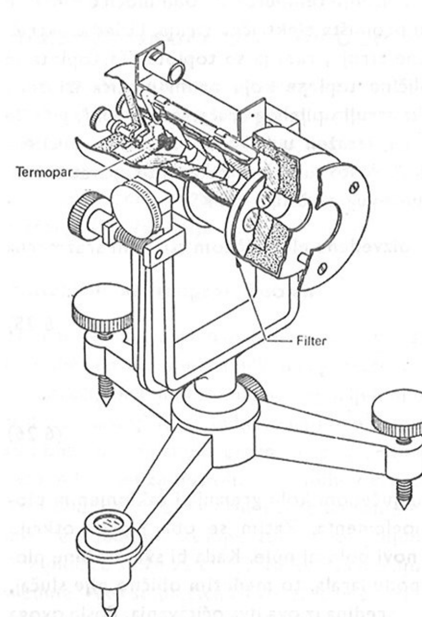
gde je r — električni otpor prijemne pločice, i — jačina struje, τ — interval vremena, δ — koeficijent apsorpcije, s — površina prijemnika.

Instrumentima za zračenje zasnovanim na ovim metodama može se meriti:

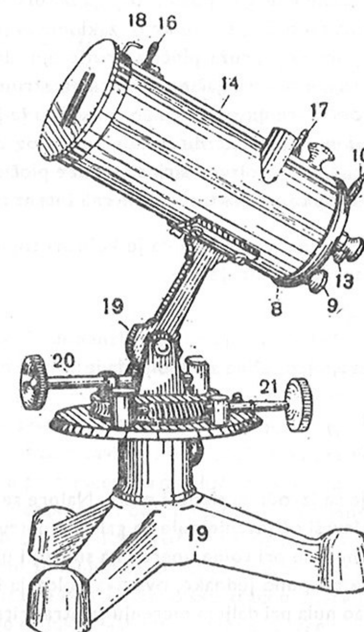
1. Direktno sunčevo zračenje
2. Difuzno zračenje
3. Globalno zračenje
4. Izračivanje zemlje

MERENJE DIREKTNOG SUNČEVOG ZRAČENJA

Da bi se merilo samo direktno sunčevo zračenje, potrebno je isključiti priliv zračne energije sa ostalih izvora zračenja. To su u prvom redu zemljina površina i atmosfera. To isključenje se postiže na taj način što se prijemni element za merenje zračenja postavlja na dno jedne cevi, koja se otvorom okreće prema suncu, slično teleskopu (Sl. 13 i 14—VI). U cevi postoji niz



Slika 13 — VI

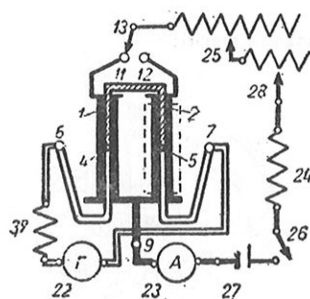


Slika 14 — VI

dijafragmi sa uskim otvorima da bi se što bolje zadržalo difuzno zračenje koje prodire u otvor cevi i da bi se sprečio njegov pristup do prijemnog elementa. Otvor cevi se ne uzima nikad toliko mali da bi primao samo direktno sunčevo zračenje. Kada bi se to htelo postići bilo bi potrebno da vidni ugao instrumenta iznosi svega 0,5°. To bi, međutim, bilo veoma nezgodno jer bi sunce vrlo brzo izlazilo iz vidnog polja instrumenta i merenje bi bilo netačno. Zbog toga se

taj ugao uzima obično 10° tako da se osim direktnog sunčevog zračenja meri još i difuzno zračenje iz dela atmosfere neposredno uz liniju osmatrač-sunce.

Instrumenti kojima se meri direktno sunčevo zračenje nazivaju se pirheliometri. Na slici 15—VI je data šema kompenzacionog pirheliometra. Princip rada ovog pirheliometra se sastoji u sledećem:



Slika 15 — VI

Ako se pirheliometru usmerenom prema suncu, otkriju obe nacrnjene pločice, to će se one podjednako i zagrejati. Ako se otkrije samo jedna, jasno je da će ona usled upijanja izvesne količine zračne energije postati toplija od druge. Izjednačenje temperature obe pločice može se postići na taj način, što se kroz zaklonjenu pločicu propušta električna struja. Usled električnog otpora koji pruža pločica proticanju električne struje, razvija se toplota. Ta toplota je srazmerna kvadratu jačine električne struje. Količinu toplote koju primi pločica izložena sunčevom zračenju označićemo sa q. Ona je jednaka struji upijenog zračenja: $q=Sbld$; gde je S — traženi intenzitet direktnog sunčevog zaračenja, izražen u kal/cm² min, d—koeficijent apsorpcije, bl—proizvod širine i dužine pločice u cm². Pošto su b, l, d. konstante aparata, biće količina toplote direktno srazmerna intenzitetu sunčevog zračenja: $q=KS$.

S druge strane poznato je da je količina toplote proizvedene električnom strujom srazmerna kvadratu jačine struje:

$$q=K_1\, i^2 \qquad (6.25)$$

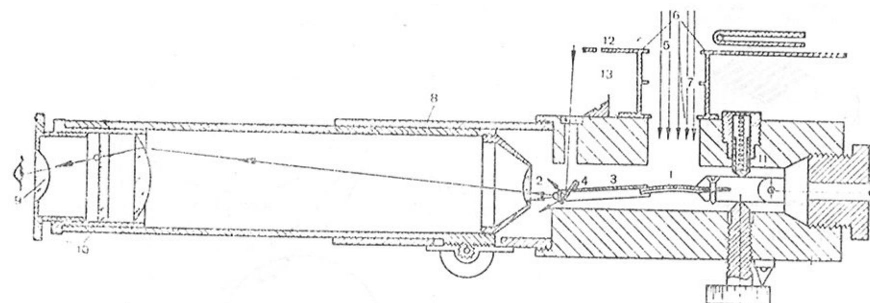
Iz tih dveju jednačina se dobija da je:

$$S=\frac{K_1}{K}\, i^2 \qquad (6.26)$$

Merenje se izvodi na sledeći način. Najpre se pri isključenom kolu grejanja i zaklonjenim pločicama izvrši očitavanje nule na galvanometru termoelementa. Zatim se obe pločice otkriju (instrument je pri tome uperen ka suncu) i utvrdi novi položaj nule. Kada bi sve osobine pločica bile potpuno jednake, ova dva položaja bi se podudarala, to međutim obično nije slučaj, pa se kao nula pri daljem merenju smatra aritmetička sredina iz ova dva očitavanja. Posle ovoga se jedna pločica zakloni. Usled nejednakog zagrevanja dve pločice, kroz termoelement počinje da teče struja, koja se odražava u skretanju galvanometra. Sada se uključuje prekidač i menjanjem otpora postiže se u kolu grejanja potrebana jačina struje za izjednačenje temperatura dveju pločica. To izjednačenje dovodi do prestanka termostruje, tj. galvanometar se vraća na nulu. Sada je potrebno očitati jačinu struje sa miliampermetra A pa je, ako je poznata instrumentalna konstanta K, moguće izračunati i intenzitet zračenja S. Iz poslednje jednačine se vidi da je moguće miliampermetar izbaždariti u jedinicama kojima se meri S. Najpoznatiji od instrumenata ove vrste je kompenzacioni pirheliometar Angstrema.

Bimetalni aktinometar

I ovaj instrument služi za merenje direktnog sunčevog zračenja. Za prijemni elemenat ima jednu bimetalnu pločicu koja se nagaravljenom stranom izlaže prema suncu. Usled zagrevanja pod uticajem sunčevog zračenja pločica se savija, a to savijanje služi kao mera intenziteta zračenja. Na sl. 16—VI se vidi da je na levom kraju pločice postavljeno jedno ogledalce koje reflektuje



Slika 16 — VI

zrak prema okularu. Pomeranje tog zraka naviše i naniže posmatra se kroz mikroskop u koji je ugrađena skala. Iz položaja svetle tačke na skali određuje se intenzitet zračenja.

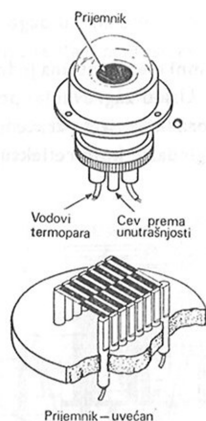
MERENJE UKUPNOG I DIFUZNOG ZRAČENJA

Instrumenti za merenje ukupnog i difuznog zračenja nazivaju se piranometri. I kod njih je prijemni elemenat jedna nagaravljena pločica, a merenje se može vršiti po različitim metodama. Pločica je kod tih instrumenata postavljena horizontalno i nije potrebno posebno usmeravanje prema suncu kao kod pirheliometara (Sl. 17, 18 i 19—VI) Ukoliko se meri samo difuzno zračenje potrebno je pomoću jednog prstena zakloniti nagaravljenu pločicu od direktnog sunčevog zračenja (Sl. 20—VI).

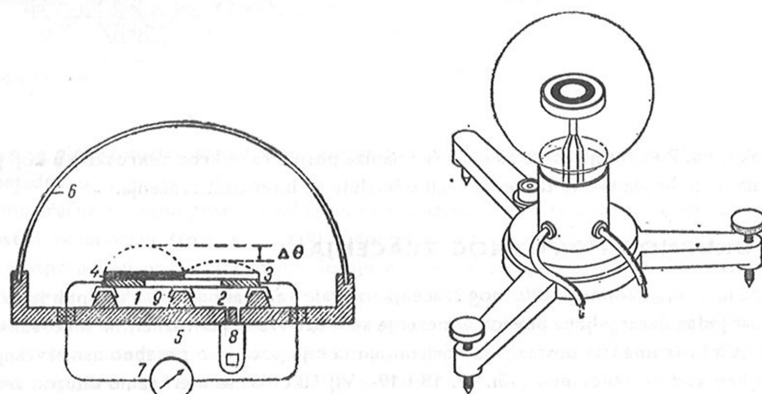
Bimetalni aktinograf Robiča

To je mehanički registrirni instrument (Sl. 21—VI). Po dimenzijama i spoljnjem izgledu donekle je sličan ostalim mehaničkim registratorima termografu, barografu, itd., s tim što ima naravno drukčiji prijemni elemenat. Taj prijemni elemenat je postavljen sa gornje strane kutije registratora i sastoji se od jedne crne i dve bele pločice pod staklenom poluloptom. Sve tri pločice su bimetali, koji se pri promeni temperature podjednako savijaju. Bele pločice su pričvršćene jednim krajem za postolje, a za njihov drugi kraj je pričvršćena crna pločica. Ako pločice nisu ozračene, reagovaće i crne i bele na temperaturne promene potpuno jednako. Savijanje crne pločice u jednom, kompenzuje se savijanjem belih pločica u suprotnom smeru. Na taj način tela pločice služe za termičku kompenzaciju, kojom se eliminiše uticaj promene temperature sredine. Ako se pločice izlože zračenju, crna pločica će upijati skoro svu zračnu energiju koja padne na nju, dok će bele pločice veći deo energije reflektovati. Usled toga će zagrevanje crne pločice pod uticajem zračenja biti znatno intenzivnije. Razlika u savijanju pločica koja usled toga nastaje, prenosi se jednostavnim sistemom poluga na pero pisača. Pero i doboš na koji se stavlja registrirna traka, su slični kao kod termografa.

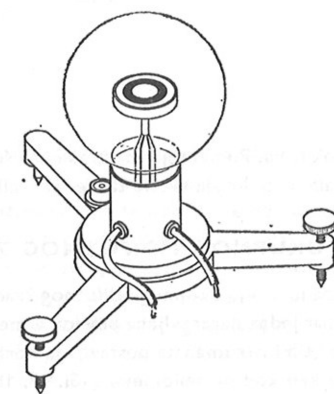
U cilju merenja difuznog zračenja, na piranometre i piranografe montira se jedan veliki prsten (prečnika oko pola metra). koji zaklanja prijemni elemenat instrumenta od direktnog zračenja sunca. Usled toga što sunce u toku godine menja visinu nad horizontom, potrebno je neprekidno voditi računa o tome da položaj prstena bude na odgovarajućoj visini (Sl. 20—VI).



Slika 17 — VI



Slika 18 — VI



Slika 19 — VI

MERENJE DUGOTALASNOG ZRAČENJA

Svi do sada opisani instrumenti mere kratkotalasno zračenje. U kratkotalasno zračenje ubrajamo vidljivi deo, a u dugotalasno zračenje infracrveni deo spektra. Maksimalna jačina infracrvenog zračenja je na talasnoj dužini od oko 10μ (Sl. 11—VI). Prijemni deo kod instrumenta za ovo zračenje je ne sme biti pokriven jer obično staklo ne propušta dugotalasno zračenje (Sl. 22—VI). To izaziva nezgode, jer se uvek mere razlike u temperaturi, a crna pločica se zagreje i od vazduha, pa pokazivanja zavise od brzine vetra, tako da se dobijaju znatna odstupanja pri jednakim uslovima zračenja. Da bi se odstranio uticaj vetra uvode se redukcioni koeficijenti, ali se paralelno sa merenjem zračenja meri i brzina vetra. U novije vreme se umesto stakla koriste plastične materije koje propuštaju infracrveno zračenje.

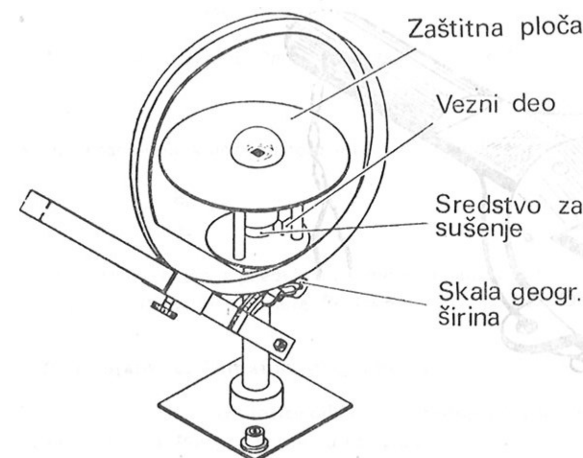
Kompenzacioni bilansmetar Mihelsona

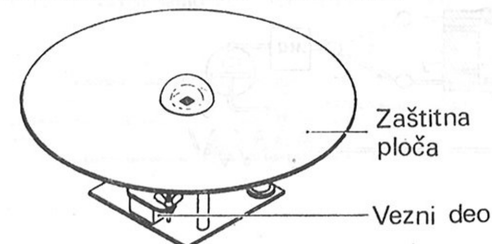
Dve nagaravljene ploče se nalaze jedna nasuprot druge. Između njih je baterija termoelemenata i galvanometar. Cilj je da se izmeri razlika u struji zračne energije odozdo i odozgo (Sl. 23—VI). Promenljivi otpor služi za promenu jačine kompenzacione struje. Preko dana se strujom zagreva donja ploča, a preko noći gornja. Bilans zračenja B je srazmeran jačini struje I: $B=KI^2$. K se nalazi tako što se instrument prvo izloži suncu, a zatim se meri bilans u hladu. Bilans na suncu je:

$$B=S+D-R_k-R_d+E_a+E_z=KI_s^2 \qquad (6.27)$$

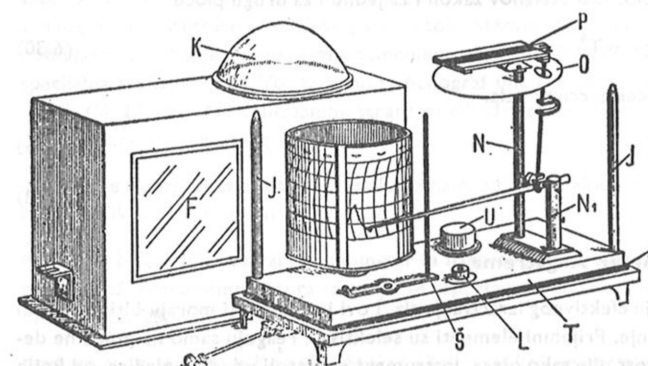
E_a — intenzitet zračenja atmosfere u toku noći — (deo dugotalasnog zračenja usmeren naniže) u hladu je:

$$B-S=D-R_k-R_d+E_a-E_z=KI_h^2 \qquad (6.28)$$





Slika 20 — VI

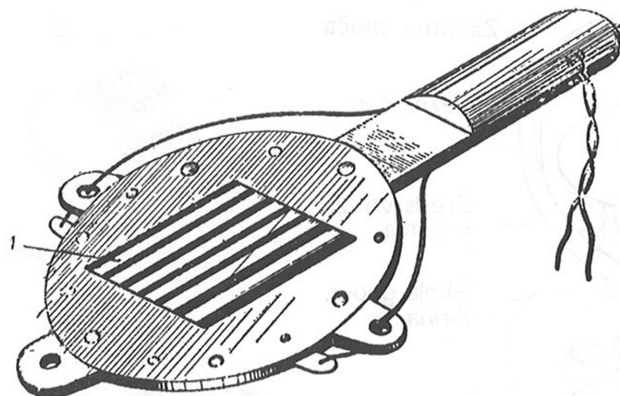


Slika 21 — VI

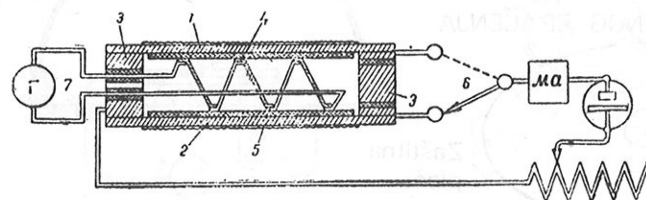
Ako se prva jednačina oduzme od druge dobija se:

$$S = KI_s^2 - KI_h^2 \qquad (6.29)$$

$$K = \frac{S_0 \sin h_0}{I_s^2 - I_h^2}$$



Slika 22 — VI



Slika 23 — VI

gde je h_0 — visina sunca. Za izračunavanje K po ovoj formuli potrebno je znati S_0 koje se dobija pomoću pirheliometra.

Termoelektrični bilansmetar Janiševskog

To je isti isntrument kao i bilansmetar Mihelsona, samo bez kompenzacije. Pošto se uzima, da je prijemni element crno telo, važi Štefanov zakon i za jednu i za drugu ploču:

$$E_{T1} = \sigma T_1^4 \qquad E_{T2} = \sigma T_2^4 \qquad (6.30)$$

gde je E_T — intenzitet zračenja crnog tela.

$$B = \sigma (E_{T1} - E_{T2}) \qquad (6.31)$$

$$B = \sigma (T_1^4 - T_2^4) \qquad (6.32)$$

Kompenzacioni pirgeometar Angstrema

Pirgeometri služe za merenje efektivnog izračivanja tla. I ovi instrumenti moraju biti otkriveni jer mere dugotalasno zračenje. Prijemni elementi su selektivni, reaguju samo na pojedine delove spektra. Ipak selektivnost nije tako oštra. Instrument se sastoji od dve pločice, od kojih je jedna zlatna, a druga nagaravljena, kompenzacionog kola i termoelementa, kojim se meri

razlika u temperaturi pločica. Baždarenje se vrši tako što se instrument postavi iznad udubljenja u snegu, tako da je čitav horizont zaklonjen snegom. Sneg zrači približno kao crno telo u dugotalasnom delu spektra. On apsorbuje 0,99 od dugotalasnog zračenja koje padne na njega

$$E_s = 0{,}99\, \sigma T^4 = 0{,}99\, \sigma (273 + t)^4 \qquad (6.33)$$

Izračivanje instrumenta je:

$$E_t = \sigma T^4 = \sigma (273 + t)^4 \qquad (6.34)$$

Efektivno zračenje je zračenje koje instrument gubi:

$$E_{ef} = E_s - E_T \qquad (6.35)$$

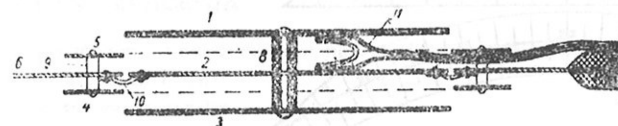
Kompenzacionim kolom nadoknađuje se gubitak energije:

$$E_{ef} = KI_i^2 \qquad K = \frac{E_{sf}}{I^2}$$

Ovim instrumentom je predviđena samo kompenzacija crne pločice, tako da nije moguće meriti zračenje iznad toplije površine. Pri jakom vetru se uvodi korekcija.

Diferencijalni Lajhtmanov pirgeometar

Sastoji se od tri kružne pločice od kojih je srednja potpuno zaklonjena od zračenja i ima temperaturu vazduha. Meri se razlika u temperaturi vazduha i one ploče koja prima zračenje. Kod ovog instrumenta je izbegnut uticaj vetra, jer razlika u temperaturi srednje ploče i ploče koja prima zračenje zavisi samo od zračenja (Sl. 24—VI).



Slika 24 — VI

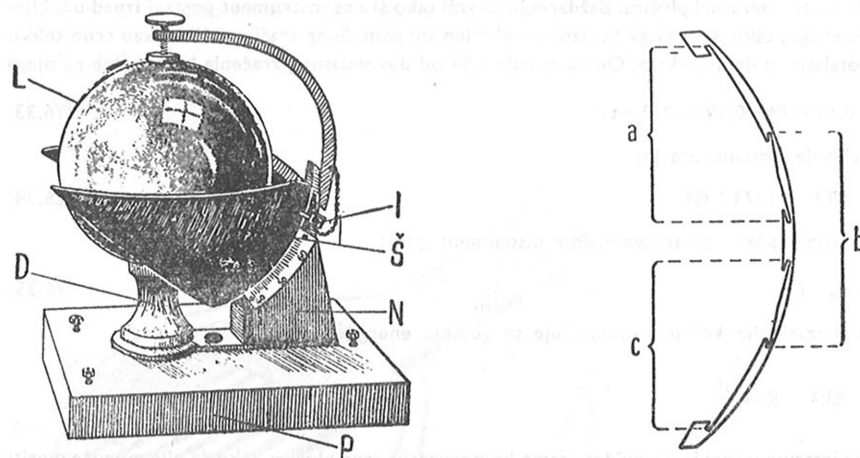
INSTRUMENTI ZA MERENJE TRAJANJA SUNČEVOG ZRAČENJA

Kempbel-Stoksov heliograf u prvobitnom obliku sastojao se od staklenog suda napunjenog vodom stavljenog u drvenu činiju. Kada se kugla izloži suncu drvo u njenoj žiži gori i tako sunce ostavlja trag u drvetu. Ovaj sud je u prvobitnim merenjima stajao izložen suncu u toku cele sezone i usled različite visine sunca u toku godine dobijale su se stalno nove linije. Na ovaj način se moglo odrediti trajanje sunčevog sjaja u toku sezone. Kasnije je ovaj instrument (Sl. 25—VI) poboljšan tako što je drvena činija zamenjena metalnim lukom (Sl. 25 b—VI) u koji se stavlja specijalna traka (Sl. 26—VI). Đordanov heliograf ima dva presečena cilindra sa prorezima sa strane (Sl. 27—VI). Na unutrašnjim stranama cilindra se nalazi papir osetljiv na svetlost. Sunce u toku dana ostavlja trag na papiru.

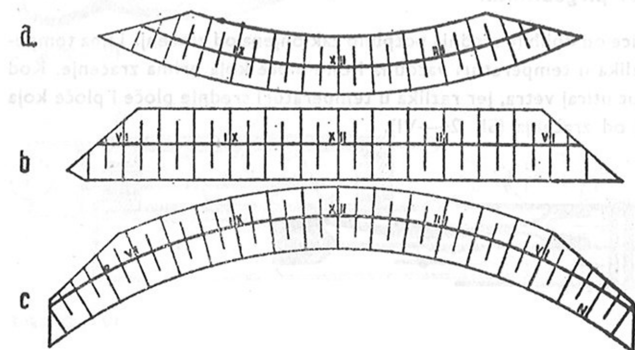
Ukoliko je sunce zaklonjeno oblakom linija na papiru se prekida. Papir se svakog dana menja, a linija se fiksira isipiranjem papira vodom.

Marvinov heliograf je ustvari termometar sa nagaravljenim rezervoarom. Kada se ovaj termometar izloži suncu temperatura raste, pa se uspostavi strujni kontakt, koji vodi do registrirnog uređaja (Sl. 28—VI).

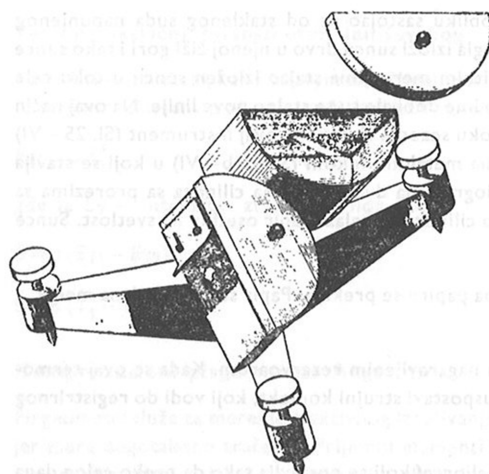
Kod nas se upotrebljava Kempbel-Stoksov heliograf koji se postavlja tako da preko celog dana bude izložen suncu. Postavlja se tako da u delu horizonta od *NE* do *SE* i od *SW* do *NW* ne sme



Slika 25 — VI

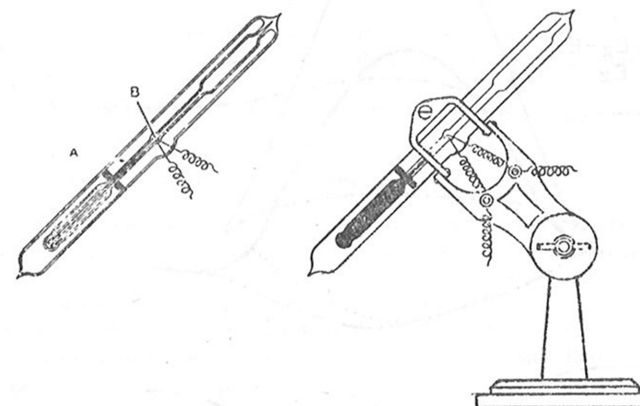


Slika 26 — VI



Slika 27 — VI

da bude uzvišenja većih od 3°, a prema jugu treba da su manja od 20°. Heliograf mora da se postavi na čvrsto postolje (betonski stub) na visini od 1 m. Može se postaviti i na krov zgrade. Greške nastaju usled netačnog položaja kugle. Obrada se vrši merenjem dužina linija sa trake i



Slika 28 — VI

njihovim sabiranjem. U tropskim krajevima su instrumenti drugačije građeni, učvršćeni su sa strane, a traka je ispod kugle.

BILANS ZRAČENJA

Bilans zračenja na nekoj površini, npr. zemljinoj površini, je razlika između dva suprotno usmerena fluksa energije.
Ako se usvoje oznake:

I — direktno zračenje sunca

i — difuzno zračenje (kratkotalasno)

E_z — sopstveno zračenje zemlje

E_a — protivzračenje atmosfere

A_k, A_d — kratkotalasni i dugotalasni albedo, važiće za bilans zračenja:

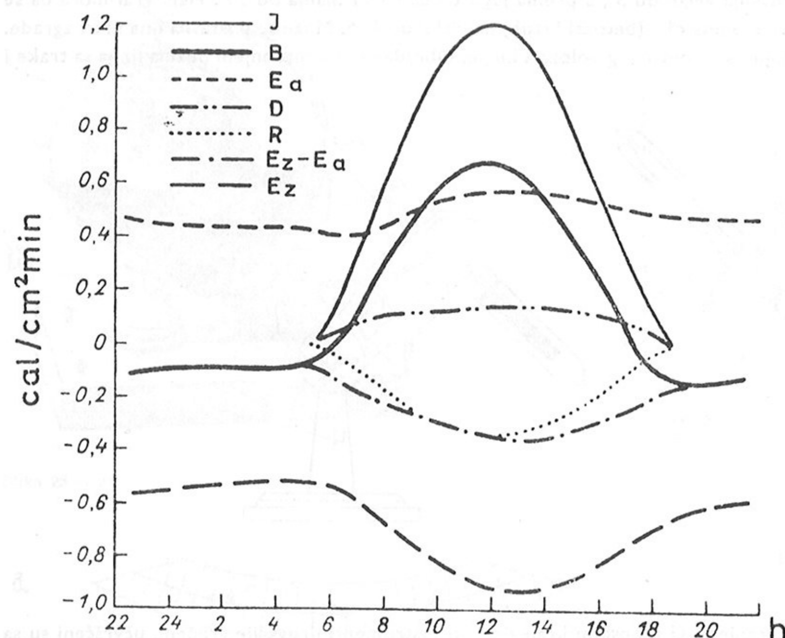
$$B = (I + i)(1 - A_k) - [E_z - (1 - A_d) E_a]$$

Bilans zračenja bitno utiče na temperaturu tla i prizemnog sloja vazduha, kao i na dnevne i godišnje promene, od njega zavisi klima neke oblasti (Sl. 29—VI).

Dnevni hod bilansa zračenja vidi se na sl. 29—VI

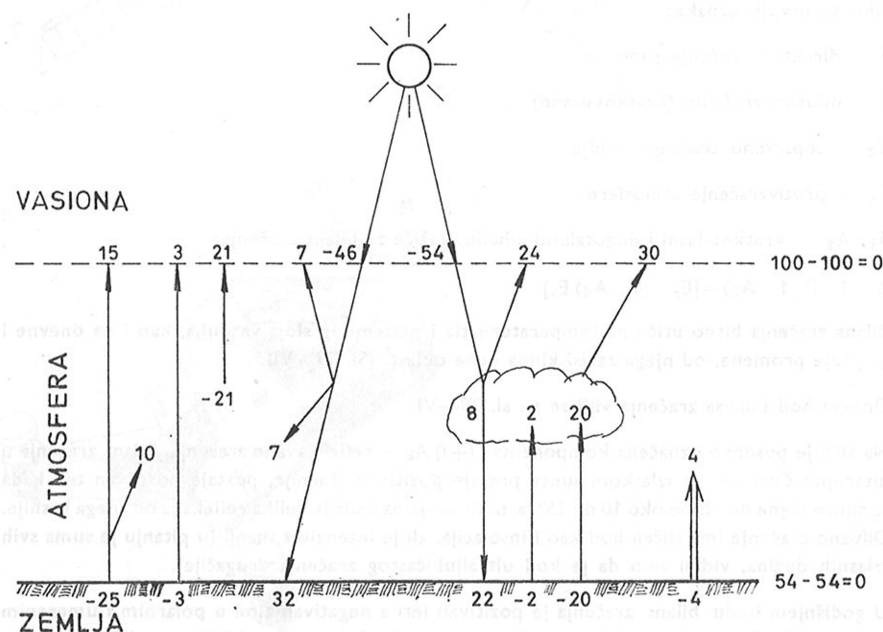
Na slici je posebno označena komponenta $(I+i) A_k$ — reflektovano zračenje. Bilans zračenja u jutarnjim časovima sa izlaskom sunca postaje pozitivan. Tačnije, postaje pozitivan tek kada se sunce digne do visine oko 10 do 15°, a u situacijama kada je velika refleksija od snega kasnije. Difuzno zračenje ima sličan hod kao i insolacija, ali je intenzitet manji (u pitanju je suma svih talasnih dužina, videli smo da je kod ultraljubičastog zračenja drugačije).

U godišnjem hodu bilans zračenja je pozitivan leti a negativan zimi u polarnim i umerenim širinama. Na Antarktiku je bilans pozitivan samo oko 3 meseca godišnje, a godišnje sume su uvek negativne.



Slika 29 — VI

Na slici je prikazan srednji globalni bilans zračenja sistema zemlja-atmosfera. Posmatraju se dve granične površine na kojima se ispituje bilans, to su površina zemlje i gornja granica atmosfere (Sl. 30—VI).



Slika 30 — VI

Na gornju granicu atmosfere pada 1,98 cal/min na svaki kvadratni santimetar površine normalne na sunčeve zrake. Čitava zemlja dobija na taj način 1,98 $a^2\pi$ kalorija u minuti (gde je a — radijus zemlje). ili u toku čitavog dana:

$((1.98\, a^2\, \pi)/4\, a^2\, \pi)\ 1440 = 700\ cal\ cm^{-2}$

Taj iznos se uzima kao 100 relativnih jedinica sunčevog zračenja, pozitivne vrednosti predstavljaju prihod one oblasti u kojoj se nalaze, negativne znače gubitak.

Tih 100 jedinica dele se na sledeći način:

1) 46 jedinica prodire u vedru atmosferu, 54 jedinice padaju na oblake. Od prvih 46 jedinica biva 7 apsorbovano od strane atmosfere, a 7 difuzno reflektovano u vasionu.

2) Od 54 jedinice koje prodiru do površine oblaka, 24 jedinica biva reflektovano u vasionu, 8 jedinica bivaju apsorbovane od strane oblaka, 22 jedinice prodre do tla.

3) Dugotalasno zračenja tla iznosi 27 jedinica. Od toga atmosfera asprobuje 10, a u vasionu odlazi 15, dok 2 jedinice apsorbuju oblaci. Drugi gubitak koji trpi zemljina površina iznosi 20 jedinica i to odlazi na isparavanje sa tla i vodenih površina. Putem kondenzacije vodene pare u oblacima dobija atmosfera tih 20 jedinica.

Treći gubitak toplote je konvektivno odvođenje toplote putem konvekcije i razmene, on iznosi 4 jedinice. Toliko gubi zemlja, a dobija atmosfera procesima isparavanja, kondenzacije i razmene.

Postoji još jedan manji deo koji ima vrednost 3, a odnosi se na padavine, topljenje snega zimi i provođenje toplote iz dubljih slojeva zemlje.

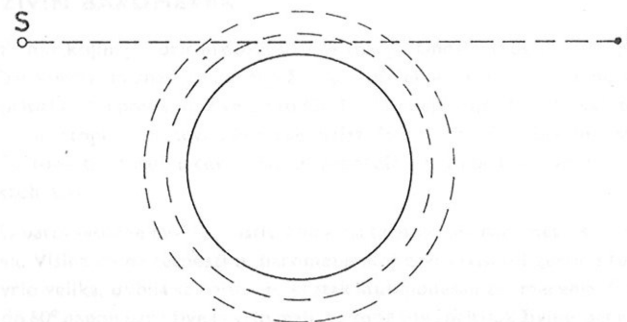
Vedra atmosfera prima ukupno 10+7+4=21 jedinicu, koja biva izračena putem dugotalasnog zračenja u vasionu. Oblaci sa svoje strane imaju gubitak od 30 jedinica prema-vasioni.

Bilans zračenja kako je ovde dat, može da varira u granicama od ± 2 jedinice. Novija merenja sa satelita daju sve tačniju sliku stanja stvari u pogledu bilansa zračenja.

MERENJE ZRAČENJA SA SATELITA

Mogućnost daljinskih merenja sa satelita koristi se za detaljno merenje zračenja, indirektno i za niz drugih istraživanja.

Na satelitima se može neprekidno registrovati ultraljubičasto zračenje sunca, zračenja povezana sa eksplozijama na suncu, zbog kojih dolazi do poremećaja u jonosferi, ili do naglog zagrevanja stratosfere. Merenjem direktnog sunčevog zračenja u ultraljubičastom opsegu u vreme kada satelit zalazi iza zemlje, pa zraci moraju da prođu kroz debeo sloj atmosfere, može se dobiti stanje ozona (Sl. 31—VI).



Slika 31 — VI

Na slici je prikazan položaj satelita (s), i zrak koji od sunca (S) dolazi do satelita kroz ozonosferu. U vidljivom delu spektra vrši se detaljno, svakodnevno fotografisanje (sa satelita) velikih oblasti zemljine površine, u prvom redu radi dobijanja oblačnog pokrivača, a osim toga i radi dobijanja snežnog pokrivača, magle itd. Dalje, moguće je na osnovu albeda mora određivati intenzitet talasa, jer mirno more jače reflektuje. Polarimetrijskim merenjem svetlosti reflektovane sa morske površine može se odrediti i smer kretanja talasa, a time i smer vetra.

Raznovrsni su i zaključci do kojih se može doći na osnovu merenja refleksije sa oblaka. Albedo oblaka zavisi i od njihove debljine, pa se na osnovu albeda može odrediti debljina oblačnog pokrivača. Oblici oblačnih ćelija, pruga i vrtloga vezani su sa dinamikom atmosferskih procesa. Po njima se mogu izračunavati lokalne brzine vetra, promene vetra sa visinom $\frac{\partial v}{\partial z}$ i vertikalne brzine.

Visina gornje površine oblaka može se određivati pomoću satelita na sledeći način. Kiseonik u atmosferi apsorbuje zračenje λ=7609 Å. Ta apsorpcija zavisi od debljine sloja atmosfere kroz koji zrak prolazi. Upoređivanjem apsorpcije na toj apsorpcionoj liniji i na okolnim delovima spektra u kojima dolazi do slabljenja samo usled difuzije može se vrlo precizno odrediti gornja površina oblaka. Ta metoda je naročito pogodna za niže oblake, jer je deblji sloj vazduha kroz koji zrak prolazi pa su i promene zračenja, veće.

U oblasti atmosferskog okna infracrvenog zračenja (od 8,5 do 11 μ) radijacija koja izlazi izvan atmosfere karakteriše temperaturu podloge, jer praktično sve potiče sa zemljine površine, ili drugih površina (more, oblaci). Pomoću merenja dela spektra u oblasti „okna" otkriveno je postojanje hladnih vrlo visokih oblaka, sa temperaturom oko −70°C. Ti oblaci prate tropske uragane.

Zračenje u oblasti jake apsorpcije od strane vodene pare (od 5,5 do 7 μ) karakteriše stanje viših slojeva atmosfere. Naime, zračenje tih talasnih dužina emitovano sa zemljine površine veoma je jako apsorbovano, tako da se već na visini od 40 m njegov intenzitet smanjuje na polovinu. Očevidno te talasne dužine ne mogu zbog vrlo jake apsorpcije da karakterišu temperaturu nižih slojeva atmosfere, ili površine tla.

Na osnovu podataka o zračenju sa satelita rešava se tzv. inverzni zadatak. Pomoću poznatih vrednosti zračenja u pojedinim delovima spektra može se odrediti temperatura pojedinih slojeva atmosfere, odnosno vertikalni profil temperature. Podaci iz oblasti „okna" (od 8,5 do 11 μ) daju temperaturu najnižih slojeva. Podaci iz dela spektra jake apsorpcije (od 5,5 do 7 μ) daju temperaturu visokih slojeva. Rezultati ovakvog načina rada su zadovoljavajući i tačnost izračunavanja temperature na raznim visinama je uporediva sa tačnošću koja se dobija radiosondažnim merenjima.

VII
MERENJE ATMOSFERSKOG PRITISKA

JEDINICE PRITISKA

Atmosferski pritisak se obično izražava visinom živinog stuba, čijom težinom se kompenzuje. Da bi se isključio uticaj promene visine stuba usled dejstva teže i temperature izvode se određene redukcije.

Kao normalni atmosferski pritisak smatra se onaj koji je kompenzovan živinim stubom visine 760 mm, pri temperaturi 0°C, na geografskoj širini 45° i na nivou mora. Ta veličina iznosi: 10332,96 kg/m².

U meteorologiji je kao jedinica pritiska usvojen 1 mb (milibar). On je u sistemu *CGS* jednak 10^3 din/cm². U sistemu *MKS* pritisku od jednog milibara odgovara 10^2 kg m^{-1} sec^{-2}.

Veza između mb i visine živinog stuba u mm data je sa:

$$1\text{ mm Hg} = \frac{0{,}1\text{ cm}^3 \cdot 13{,}596\text{ g/cm}^3 \cdot 981\text{ cm/sec}^2}{1\text{ cm}^2} = 1{,}33\text{ mb} \qquad (7.1)$$

Normalni pritisak izražen u milibarima iznosi 1013,25.

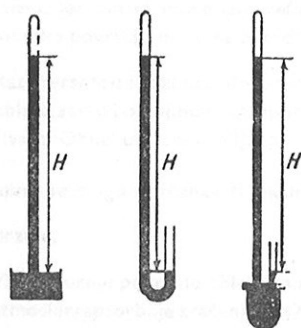
Na instrumentima za merenje pritiska skala je obično obeležena u mm Hg. Za prevođenje pritiska u milibare koriste se tablice.

ŽIVIN BAROMETAR

Pribor kojim je Toričeli dokazao postojanje atmosferskog pritiska predstavlja i danas glavni deo barometra. Poznato je da stub žive u Toričelijevoj cevi drži ravnotežu spoljnjem atmosferskom pritisku. Na površinu žive u čaši (Sl. 1—VII) dejstvuje atmosferski pritisak, a na površinu pokrivenu zatopljenom cevi u kojoj se nalazi živa pritiskuje, očevidno, stub žive koji se nalazi u cevi. Pošto se živin stub u cevi nalazi u ravnoteži, mora pritisak vazduha biti jednak pritisku koji vrši stub žive.

U barometru se može koristiti bilo koja tečnost, ali barometri sa živom imaju sledeća preimućstva. Visina stuba tečnosti u barometarskoj cevi zavisi od gustine tečnosti. Pošto je gustina žive vrlo velika, dobija se relativno kratak stub podesan za merenja. Osim toga pri temperaturama do 60° napon pare žive je vrlo mali, pa zbog toga pritisak živine pare, koja se nalazi u barometarskoj cevi, ne utiče bitno na pokazivanje barometra.

Pri nekim specijalnim merenjima mogu se koristiti i druge tečnosti, čija je gustina znatno manja od žive. Tako napr. može se napraviti barometar sa glicerinom. Preimućstvo tih barometara je u tome, što je njihova osetljivost, tj. promena dužine stuba tečnosti pri promeni pritiska za



Slika 1 — VII

jedinicu, nekoliko puta veća nego kod žive. Naravno, kada bi takve barometre konstruisali za merenje prizemnog atmosferskog pritiska, njihova dužina bi bila oko 10 i više metara. Zbog toga se barometri sa lakim tečnostima upotrebljavaju samo za merenje sasvim malih pritisaka, napr. za merenje atmosferskog pritiska pri stratosferskim letovima.

GREŠKE PRILIKOM MERENJA PRITISKA ŽIVINIM BAROMETROM I POPRAVKE OSMOTRENIH VREDNOSTI

Na promenu visine živinog stuba utiču osim promena atmosferskog pritiska i sledeći faktori: prisustvo gasa u barometarskoj cevi iznad žive, kapilarne pojave u barometarskoj cevi, nagib barometra, promena temperature i promena sile teže.

a) **Prisustvo gasa u barometarskoj cevi iznad žive**

Ako se u gornjem kraju barometarske cevi pojavi neki gas, njegov pritisak će izazvati spuštanje živinog stuba. Pritisak gasa nije stalan već se menja u zavisnosti od temperture i spoljnjeg pritiska, od koga zavisi zapremina prostora iznad žive.

Zbog toga će greška koju izaziva izvesna količina gasa u barometarskoj cevi, biti veća na stanicama sa visokim i srednjim pritiskom, a znatno manja na visinskim stanicama.

Osim promene pritiska, na napon gasa zatvorenog u barometarskoj cevi utiče i promena temperature. Promena napona gasa u zavisnosti od promene temperature može se izračunati po formuli:

$$p_t = p_0 (1 + \alpha t) \qquad (7.2)$$

gde je p_t — napon gasa pri temperaturi t; p_0 — napon gasa pri temperaturi 0°, α — koeficijent širenja gasa jednak 1/273.

Promena temperature od 20° prouzrokuje promenu popravke usled napona gasa od 7%, pošto je veličina promene napona jednaka 20 p_0/273. Ukoliko se i uspe da u barometru ostane zanemarljiva količina vazduha, u gornjem delu barometarske cevi uvek postoji zasićena živina para, koja vrši pritisak na živin stub i potiskuje ga. Veličina tog pritiska je mala i ukoliko se merenja vrše sa tačnošću od 0,1 milimetra, može se zanemariti. Pošto je živina para zasićena, to će određenoj temperaturi odgovarati određen napon. Uticaj napona živine pare uzima se u obzir, samo ako se pritisak očitava sa tačnošću od hiljaditog dela milimetra.

b) **Kapilarne pojave u barometarskoj cevi**

Sile površinskog napona izazivaju takozvani molekularni pritisak usmeren prema unutrašnjosti tečnosti. Veličina molekularnog pritiska zavisi od vrste tečnosti i od oblika površine. Prema Laplasu veličina molekularnog pritiska na zakrivljenu površinu data je formulom:

$$p = k + \sigma (1/R + 1/R_1) \qquad (7.3)$$

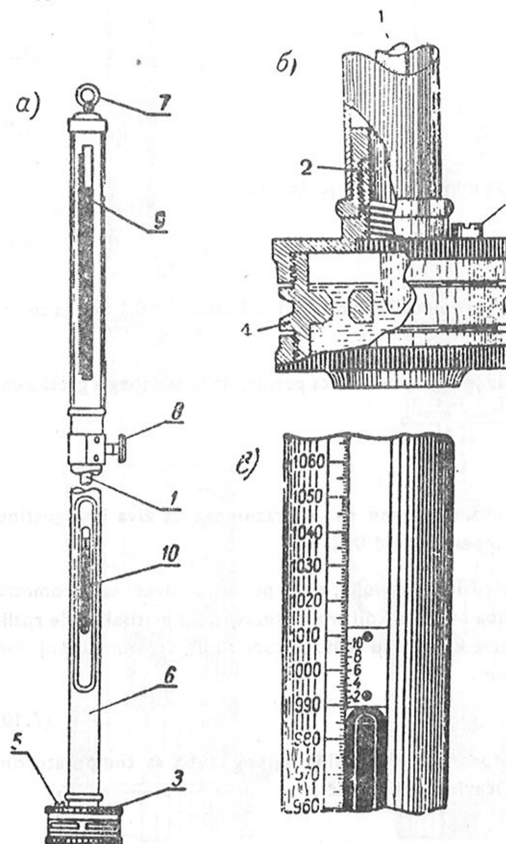
gde je p — molekularni pritisak na krivu površinu, k — molekularni pritisak na horizontalnu površinu, σ — koeficijent površinskog napona, R i R_1 — radijusi krivine površine tečnosti uzeti u dva uzajamno normalna pravca.

Drugi član formule (7,3) predstavlja višak ili manjak molekularnog pritiska na krivolinijsku površinu u odnosu na molekularni pritisak na horizontalnu površinu. Višak ili manjak se dobija u zavisnosti od meniska tečnosti. Ako je menisk ispupčen (R i R_1 su pozitivni) drugi član predstavlja višak pritiska.

Pošto čista živa ne kvasi staklo i radius barometarskih cevi je srazmerno mali, površina žive u barometarskoj cevi je ispupčena (Sl. 2—VII. detalj). Zbog toga je u barometarskoj cevi molekularni pritisak veći nego kod horizontalne površine žive.

Molekularni pritisak u barometarskoj cevi je veći nego u širokoj čaši rezervoara, pošto je krivina površine žive u cevi veća nego u čaši. Zbog toga pod uticajem molekularnog pritiska dolazi do snižavanja živinog stuba. Razlika pritiska je na osnovu (7.3):

$$\Delta = \frac{2\sigma}{R} \qquad (7.4)$$



Slika 2 — VII

gde je Δ—višak molekularnog pritiska, σ—površinski napon žive, R—radius krivine meniska žive.

Razlika data formulom (7.4) ulazi u instrumentalnu popravku, jer je određena prečnikom barometarske cevi.

Da bi se izbegle promene površinskog napona treba prilikom očitavanja lako kucnuti po barometarskoj cevi, da bi po mogućstvu pri svakom merenju bio jednak menisk.

c) **Uticaj nagiba barometra na njegovo pokazivanje**

Skala po kojoj se vrši očitavanje dužine barometarskog stuba povezana je sa barometarskom cevi (Sl. 3—VII). Zbog toga se pri nagibu barometra dobijaju veće vrednosti, nego ako barometar ima vertikalan položaj (Sl. 4—VII).

Ako u vertikalnom položaju barometar pokazuje pritisak H, pri nagibu za ugao α pokazivaće vrednost $H\alpha$.

$$H = H\alpha \cos\alpha \qquad (7.5)$$

Ako zamenimo:

$$\cos\alpha = 1 - 2\sin^2\frac{\alpha}{2} \qquad (7.6)$$

dobićemo:

$$H = H_\alpha\left(1 - 2\sin^2\frac{\alpha}{2}\right) \qquad (7.7)$$

$$H_\alpha - H = 2\sin^2\frac{\alpha}{2} H_\alpha \qquad (7.8)$$

Da bi greška barometra bila manja od 0,01 mm. potrebno je da bude:

$$2 H_\alpha \sin^2\frac{\alpha}{2} \leq 0{,}01 \qquad (7.9)$$

Ako uzmemo da je $H\alpha$ jednako 760 mm. ugao α neće biti veći od 17′. Razlika od 0,1 dobija se pri nagibu od približno 1°.

Iz navedenih brojeva se može zaključiti, da je potrebno dosta pažnje, da bi se izbegla greška usled nagiba barometra.

d) **Uticaj temperature**

Pritisak se meri milimetrima živinog stuba. Pri tome se podrazumeva da živa ima gustinu 13,595 gr/cm³, što je tačno jedino pri temperaturi od 0°C.

Pošto je temperatura barometra najčešće različita od nule, to se podaci dobiveni sa barometra moraju svoditi na nula stepeni. Visina stuba tečnosti koji uravnotežava neki pritisak, biće različita za različite tečnost'. Ako dva stuba žive koji imaju temperaturu t i 0°, uravnotežuju jedan isti pritisak p, tada možemo da napišemo:

$$H_t \rho_t g = H_0 \rho_0 g = p \qquad (7.10)$$

gde je Ht — visina stuba žive sa temperaturom t°, H_0—visina živinog stuba sa temperaturom 0°, ρt i ρ_0—odgovarajuće gustine žive. Očevidno je da važi:

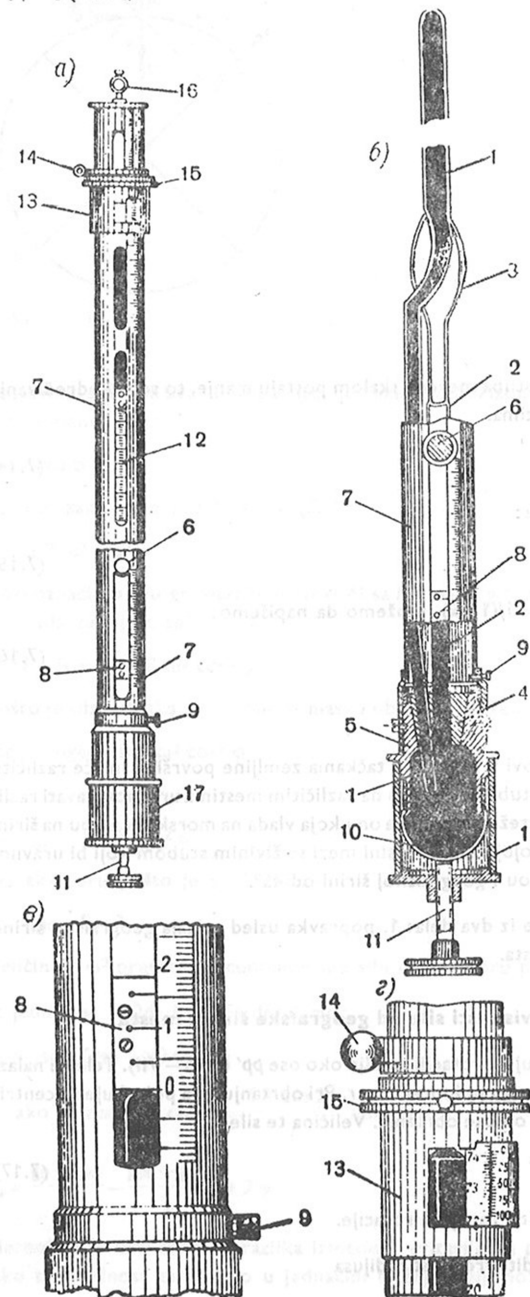
$$\frac{H_t}{H_0} = \frac{\rho_0}{\rho_t} \qquad (7.11)$$

a pošto se gustina žive menja sa temperaturom po zakonu:

$$\rho_t = \rho_0 (1 - \alpha_t) \qquad (7.12)$$

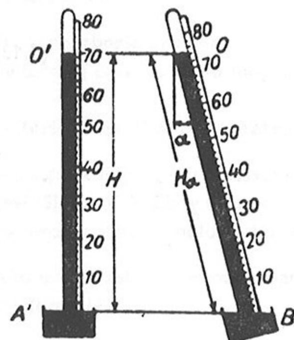
gde je α—temperaturni koeficijent zapreminskog širenja žive, visina stuba žive menjaće se prema jednačini:

$$H_t = H_0 (1 + \alpha_t) \qquad (7.13)$$



Slika 3 — VII

Dužina stuba meri se skalom čija se dužina takođe menja sa temperaturom. Promena dužine skale pri promeni temperature za t° biće jednaka $\beta H_0 t$, gde je β linearni koeficijent širenja materijala skale.



Slika 4—VII

Pošto pri produžavanju skale dužine stuba merene skalom postaju manje, to se pri određivanju dužine stuba produženje skale oduzima.

$$H_t = H_0 + \alpha H_0 t - \beta H_0 t \qquad (7.14)$$

ili posle jednostavnih transformacija:

$$H_t = H_0 [1 + (\alpha - \beta) t] \qquad (7.15)$$

Pošto za dovoljno malo x važi $1 - x = 1/(1+x)$, možemo da napišemo:

$$H_0 = H_t [1 - (\alpha - \beta) t] \qquad (7.16)$$

e) Uticaj sile teže

Jednaki po visini i gustini živini stubovi u različitim tačkama zemljine površine imaće različitu težinu. Jasno je da će zbog toga dva stuba iste visine na različitim mestima uravnotežavati različite pritiske. Pri merenju pritiska sila teže se svodi na onu koja vlada na morskom nivou na širini od 45°. Na taj način, pritisak na ma kojoj širini ili visini meri se živinim stubom koji bi uravnotežavao isti pritisak na morskom nivou i geografskoj širini od 45°.

Eliminisanje uticaja sila teže sastoji se iz dva dela: 1. popravka usled uticaja geografske širine mesta, 2. popravka usled visine mesta.

1. Razmotrićemo, najpre, **uticaj zavisnosti sile od geografske širine mesta.**

Pretpostavimo da telo mase m učestvuje u rotaciji zemlje oko ose pp' (Sl. 5—VII). Telo se nalazi na geografskoj širini φ i kreće se po krugu poluprečnika r. Pri obrtanju tela pojavljuje se centrifugalna sila f usmerena duž radijusa r od ose obrtanja. Veličina te sile je:

$$f = mr\,\omega^2 \qquad (7.17)$$

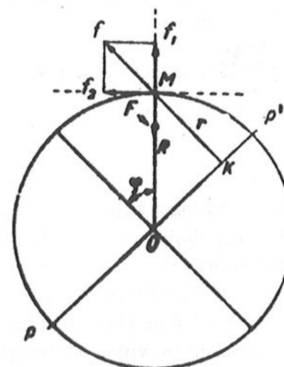
gde je m—masa tela, ω—ugaona brzina zemljine rotacije.

Iz trougla MOK (sl. 5.), može se odrediti vrednost radijusa

$$r = R \cos \varphi \qquad (7.18)$$

gde je R—poluprečnik zemlje. Ako zamenimo r iz formule (7.18) dobićemo:

$$f = mR\,\omega^2 \cos \varphi \qquad (7.19)$$



Slika 5—VII

Rastavimo silu f na dve komponente, normalnu na horizont i paralelnu s njim. Tada će normalna komponenta biti:

$$f_1 = f \cos \varphi \qquad (7.20)$$

ili, ako zamenimo f iz formule (7.19)

$$f_1 = mR\,\omega^2 \cos^2 \varphi \qquad (7.21)$$

Ako označimo silu gravitacije u tački M sa $F = mg_{90}$, gde je g_{90}—ubrzanje gravitacije na polu, biće sila zemljine teže jednaka:

$$P = F - f_1 = F - mR\,\omega^2 \cos^2 \varphi \qquad (7.22)$$

Pošto je sila jednaka proizvodu iz mase i ubrzanja možemo da napišemo

$$mg_{\varphi} = mg_{90} - mR\,\omega^2 \cos^2 \varphi \qquad (7.23)$$

Ili:

$$g_{\varphi} = g_{90} - R\,\omega^2 \cos^2 \varphi \qquad (7.24)$$

Na ekvatoru pošto je $\varphi = 0$ važi:

$$g_0 = g_{90} - R\,\omega^2 \qquad (7.25)$$

Veličina $R\,\omega^2$ predstavlja centrifugalnu silu na ekvatoru pri $m = 1$.

Iz jednačina (7,24) i (7.25) dobijamo:

$$g_{\varphi} = g_{90} - (g_{90} - g_0) \cos^2 \varphi \qquad (7.26)$$

ili ako zamenimo $\cos^2 \varphi = \frac{1 + \cos 2\varphi}{2}$ dobijamo:

$$g_{\varphi} = \frac{g_0 + g_{90}}{2} - \frac{g_{90} - g_0}{2} \cos 2\varphi \qquad (7.27)$$

Merenjem je utvrđeno da razlika između gravitacije na polu i ekvatoru iznosi 0,052 m/sec². Ako tu vrednost zamenimo u jednačini (7,27) dobijamo:

$$g_{\varphi} = g_{45} (1 - 0{,}00265 \cdot \cos 2\varphi) \qquad (7.28)$$

Pošto je visina živinog stuba obrnuto srazmerna sili teže dobijamo:

$$H_{45} = H_{\varphi}(1 - 0{,}00265 \cdot \cos 2\varphi) \qquad (7.29)$$

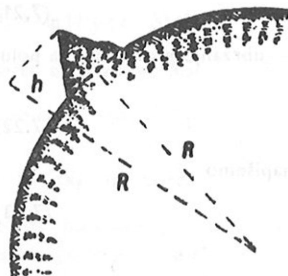
Po formuli (7.29) može se odrediti dužina živinog stuba koji bi uravnotežavao dati pritisak na geografskoj širini 45°.

Znak popravke u formuli (7.29) određen je znakom cos 2φ; od 0° do 45° popravka je negativna, a od 45° do 90° pozitivna.

2. Uticaj visine mesta osmatranja na silu teže

Pošto je sila gravitacije obrnuto srazmerna kvadratu rastojanja između masa koje se privlače, to se sila teže mora smanjivati sa visinom. Odatle sledi, da pri istom spoljnjem pritisku, visina stuba neće biti ista ako se barometri nalaze na različitim visinama. Sa porastom nadmorske visine visina stuba će rasti, jer se smanjuje njegova težina kojom on uravnotežava vazdušni pritisak. Veličina toga uticaja je mala i popravka dostiže 0,1 mb, tek na visini od 400 m. Da bi rezultati osmatranja po živinim barometrima postavljenim na stanicama sa različitim visinama, mogli da se upoređuju, svodi se dužina svakog barometarskog stuba na uslove sile teže sa morskog nivoa. Ako pretpostavimo da je zemlja loptasta, imaćemo za dve tačke od kojih je jedna na morskom nivou, a druga na visini *h*—rastojanja od centra *R* i *R*+*h* (Sl. 6—VII). Ubrzanje gravitacije je obrnuto proporcionalno kvadratu rastojanja.

$$\frac{g_h}{g} = \frac{R^2}{(R+h)^2} \qquad (7.29)$$



Slika 6 — VII

gde je *gh*—ubrzanje gravitacije na visini *h*. Ako podelimo imenioc i brojioc desne strane jednačine (7. 29) sa R^2 dobijamo:

$$\frac{g_h}{g} = \frac{1}{\left(1+\frac{h}{R}\right)^2} \qquad (7.30)$$

Ako zanemarimo kvadrat male veličine *h*/*R* možemo da napišemo:

$$g = g_h\left(1+\frac{2h}{R}\right) \qquad (7.31)$$

ili ako uzmemo *R*=6371 km., imaćemo:

$$g = g_h(1+314 \cdot 10^{-9}\, h) \qquad (7.32)$$

gde je visina *h* izražena u metrima.

Pošto je visina živinog stuba obrnuto srazmerna sili teže biće:

$$H_0 = H_h(1-314 \cdot 10^{-9} \cdot h) \qquad (7.33)$$

Na osnovu formule može se izračunati veličina popravke za svođenje visine živinog stuba na zemljinu težu sa morskog nivoa.

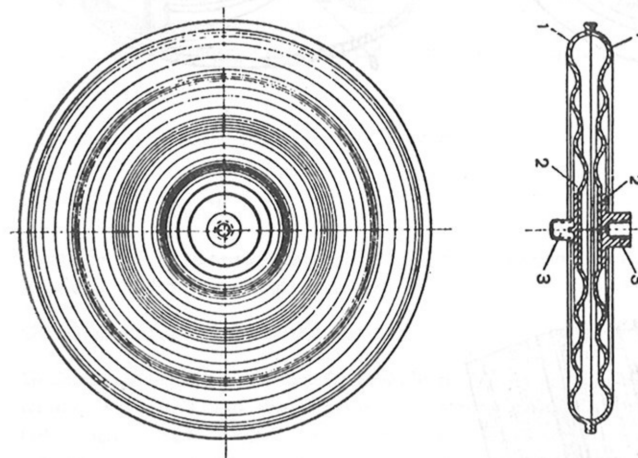
f) Instrumentalna popravka

Svaki barometar i pored najpažljivije izrade ima čitav niz nedostataka čiji zbir daje takozvanu instrumentalnu popravku. Veličina te popravke ne može se pronaći teorijskim razmatranjem već se određuje upoređivanjem barometra sa etalonom. Instrumentalna popravka obično nije veća od desetih delova milimetra, a može biti i pozitivna i negativna.

Iz prethodnog smo videli da postoje tri vrste popravki. Na meteorološkoj stanici, gde barometar ne menja položaj, instrumentalna popravka i popravka uticaja sile teže ne menjaju se, a menja se samo popravka uticaja temperature. Zbog toga se popravka sile teže i instrumentalna popravka određuju kao jedna popravka, pa osmatraču ostaje samo da prema tablicama odredi temperaturnu popravku i doda stalnu popravku.

ANEROID

Prijemni elemenat kod aneroida se sastoji od limenih kutija iz kojih je evakuisan vazduh (Sl. 7 i 8—VII). Ako spoljašnji pritisak raste, kutijica se ugne, a ako opada, ona se širi usled elasticiteta materijala. Pomoću sistema poluga prenosi se deformacija kutije i na skali se očitava pritisak. Da bi se kretanje pera povećalo, postavlja se nekoliko nezavisnih kutija jedna na drugu (Sl. 9 i 10—VII). Na ovaj način se povećava osetljivost. Materijal kutija je osetljiv i na temperaturu, tako da može i bez promene pritiska da dođe do promena na skali jer pri zagrevanju elastičnost opada. Ova greška se može kompenzovati bimetalnom pločicom (Sl. 8—VII, 2), ili gasom koji se ostavlja u kutijama. Za bimetalne pločice postoji više konstrukcija. Pri promeni temperature bimetalna pločica se savija. Pri porastu temperature smanjuje se elastičnost i kutijice se sabijaju, zato se pločica savije naviše tako da se čitava kutija podigne (Sl. 10—VII). Kompenzacija može biti i takva da se u prenosni mehanizam ubace šipčice koje se različito savijaju pri promeni temperature.

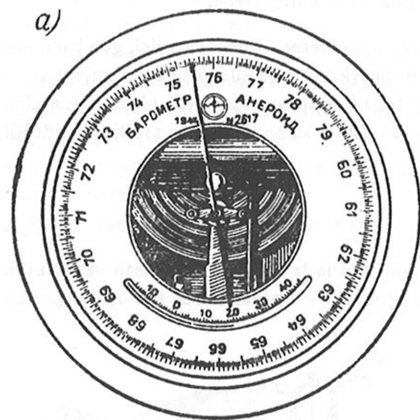


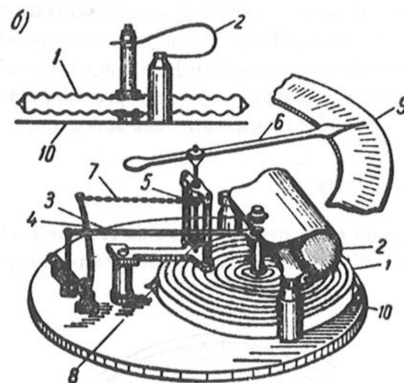
Slika 7 — VII

Kompenzacija gasom se izvodi tako što se u dozama ostavlja izvesna količina suvog vazduha. Kada temperatura raste elastičnost opada, ali raste pritisak gasa. Znači da je potrebno ostaviti toliko gasa da kompenzuje promenu elastičnosti metala. Ako je Δp promena pokazivanja usled promene temperature, a Δp_g promena pritiska gasa u kutiji onda treba da je: $\Delta p = \Delta p_g$

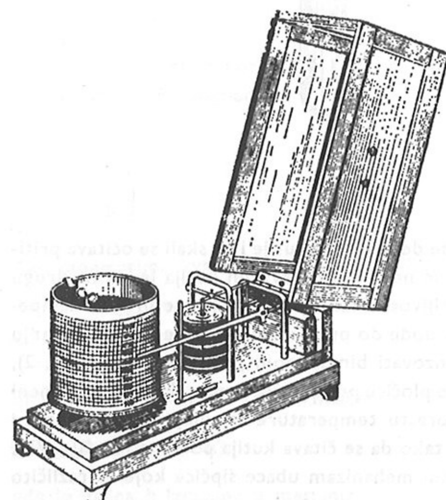
$$\Delta p_g = \frac{p_0 \Delta t}{273} \qquad \Delta p = \frac{p_0 \Delta t}{273} \tag{7.34}$$

$$p_0 = \frac{273 \Delta p}{\Delta t} \tag{7.35}$$



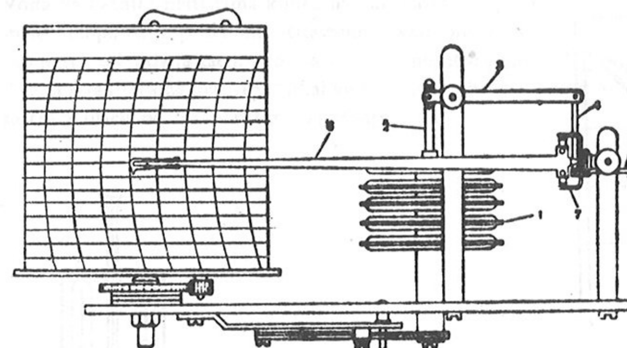


Slika 8 — VII



Slika 9 — VII

p_0 je pritisak gasa koji treba da vlada u kutiji i on je reda veličine 50 mm Hg. Kod aneroida se ne uvode korekcije na uticaj sile teže.



Slika 10 — VII

BURDONOVA CEV

Uglavnom se koristi u radio sondama zato što je njen opseg vrlo veliki. Ako pritisak raste cev se savija a ako opada ona se ispravlja. Ova cev se koristi i kod termografa za merenje temperature, ali je tada potpuno napunjena tečnošću. Ako je napunjena gasom ili je prazna, Burdonova cev reaguje na pritisak, a ako je napunjena tečnošću, na temperaturu, jer je tečnost nestišljiva. Naime, cev se može savijati samo tako što se debljina cevi, odnosno $R-r$, smanjuje. Ako je R poluprečnik spoljnjeg luka cevi, a r poluprečnik unutrašnjeg luka, L je dužina spoljnjeg luka, l je dužina unutrašnjeg luka, tada je $R-r$ promenljiva a $L-l$ konstanta.

$$L = R\varphi \qquad l = r\varphi$$

Ako drugu jednačinu oduzmemo od prve dobijamo:

$$L - l = (R - r)\varphi \qquad \text{tj.} \quad \varphi = \frac{L - l}{R - r}$$

Odatle se vidi da se opadanjem razlike $R-r$, tj. sužavanjem cevi dolazi do porasta φ, tj. do savijanja cevi. Preko prenosnog mehanizma savijanje cevi se prenosi na skalu.

GREŠKE KOD ANEROIDA

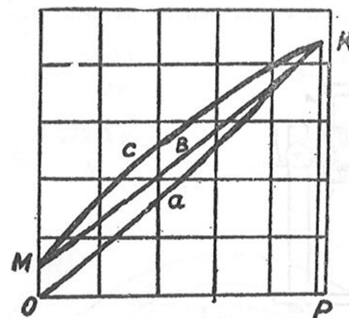
Greška skale se javlja usled toga što svaki instrument ima svoje individualne osobine, a skale se izrađuju serijski. Kompenzacija promene temperature pomoću gasa ili bimetala važi samo za jednu tačno određenu temperaturu. Gas se širi potpuno ravnomerno, a deformacija aneroidskih kutija nije ravnomerna, pa se greška kompenzacijom samo smanjuje, a ne eliminiše se u potpunosti.

Svaki elastični materijal trpi deformacije, koje ostaju trajne. Ako povećavamo pritisak, doze se deformišu, prvo po krivoj (*a*) (Sl. 11 — VII), ali pri vraćanju pritiska na nulu deformacija se ne vraća na nulu nego ostaje trajna: kriva (*b*). Sledeće deformacije bi bile po krivoj (*b*) i (*c*). Znači da se samo prva promena razlikuje od ostalih. Zbog toga se aneroid pre nego što se izbaždari podvrgava jakim promenama pritiska. Taj proces se naziva veštačkim starenjem.

BAROGRAF

Kod barografa se koristi isti princip kao i kod aneroida. On takođe ima niz kutijica a preko prenosnog mehanizma se vrši registrovanje promena pritiska. Kod barografa se koristi kompenzacija pomoću bimetala ili gasa. Sve osobine aneroida poseduje i barograf. On se ne postavlja u

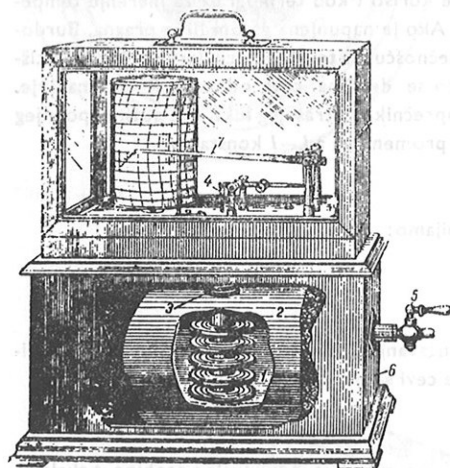
zaklon nego se nalazi u zgradi kod živinog barometra, tako da se odstupanja barografa od stvarnog pritiska očitavaju direktno, pa nije potrebna nikakva korekcija (Sl. 9 i 10—VII).



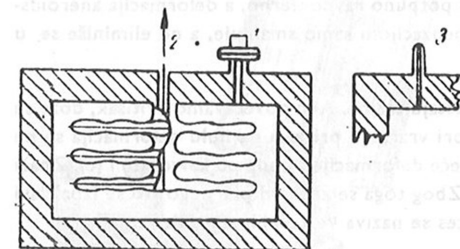
Slika 11 — VII

MIKROBAROGRAF

Sastoji se iz valjka koji je gore otvoren i u njemu se nalazi niz kutija koje su u kontaktu sa atmosferom (Sl. 12 i 13—VII). Kada se slavina otvori pritisak u valjku se izjednači sa spoljašnjim



Slika 12 — VII

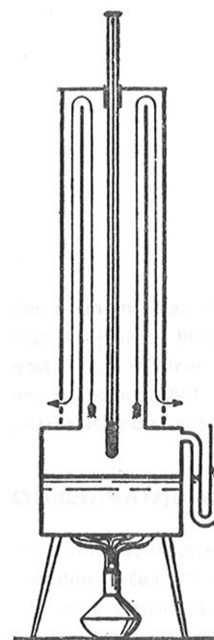


Slika 13 — VII

pritiskom P_0. Kada se slavina zatvori pritisak u valjku ostaje konstantan. Pritisak u kutijama (Vidijevim dozama) je u stvari spoljašnji pritisak *P*, tako da se dobijaju razlike u pritiscima *P* i P_0. Ako je P_0 veće, doze se sabijaju. Promene se prenosnim mehanizmom prenose do skale.

HIPSOMETAR

To je ustvari termometar pomoću koga se meri temperatura pare ključale vode (Sl. 14—VII). Voda na raznim pritiscima ključa na različitim temperaturama. Ova temperatura se prilično malo menja, pa je potrebno očitavanje sa velikom tačnošću. Zato se koriste vrlo precizni termometri, tako da je tačnost očitavanja temperature 0,01°C. Termometri mogu da budu izbaždareni u jedinicama pritiska. Nikakve korekcije nisu potrebne. Voda mora biti destilovana, jer sastojci utiču na temperaturu ključanja.



Slika 14 — VII

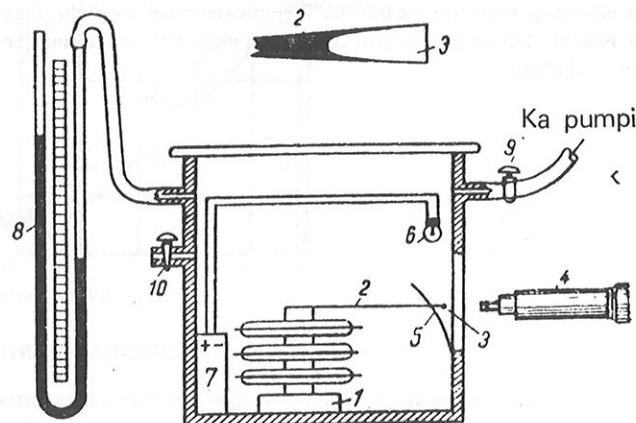
PROVERAVANJE BAROMETRA

Proveravanje barometra i aneroida vrši se pomoću etalona koji se čuvaju u centrima i barokomora u kojima se pritisak može menjati. Normalni barometar (etalon) očitava se pomoću katetometra, koji se sastoji od čeličnog cilindričnog stuba na koji je pričvršćen, strogo horizontalno, dogled. Dogled se može pomerati pomoću mikrometra, da bi se doveo u isti nivo sa površinom žive u barometru. Tako se vrši očitavanje nivoa žive sa rastojanja od 2—3 metra, čime se izbegava potresanje barometra i termički uticaj tela osmatrača.

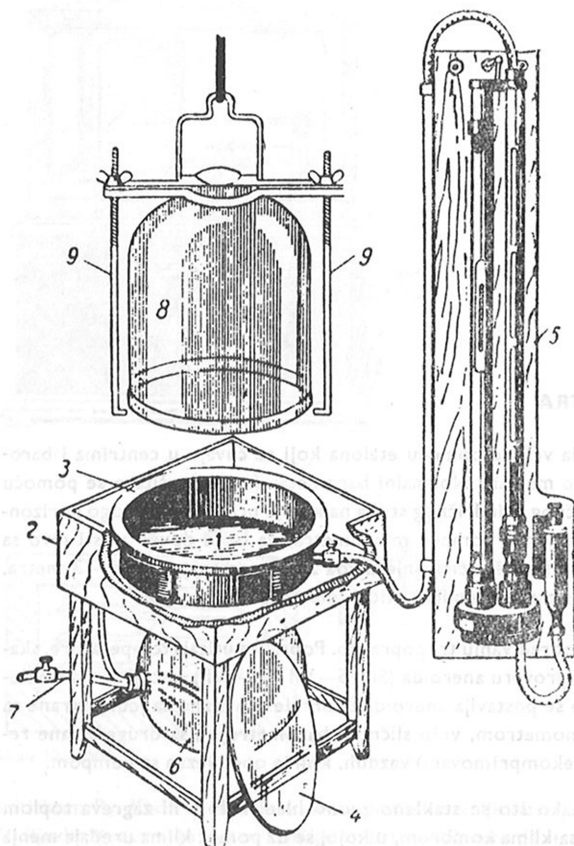
Proveravanje aneroida sastoji se u određivanju tri popravke. Popravka uticaja temperature, skale i dopunska popravka. Uređaj za proveru aneroida (Sl. 15—VII i 16—VII) sastoji se od staklenog zvona (ili sličnog suda) u koje se postavlja aneroid. Zvono je povezano sa jedne strane sa manometrom (obično živinim manometrom, vrlo sličnom barometru), a sa druge strane rezervoarom za komprimovani (ili dekomprimovani) vazduh, koji je opet vezan sa pumpom.

Temperaturna popravka se vrši tako što se stakleno zvono hladi ledom ili zagreva toplom vodom. Savremeniji način rada je sa klima komorom, u kojoj se uz pomoć klima uređaja menja pritisak, temperatura i vlažnost prema potrebi.

Provera skale se vrši menjanjem pritiska u zvonu ili komori. Dopunska popravka se dobija posle završenog rada sa komorom. Tada se u toku nekoliko dana vrši upoređenje pokazivanja aneroida i barometra u radnim uslovima.



Slika 15 — VII



Slika 16 — VII

VIII

MERENJE ELEMENATA VETRA

Pod pojmom vetar obično se podrazumeva horizontalno strujanje vazduha. Klasični elementi toga strujanja su brzina vetra (horizontalna komponenta brzine strujanja) i smer. Turbulentnost, odnosno struktura, toga strujanja i vertikalna komponenta dugo su bili zapostavljeni, ne zbog toga što nije postojala svest o njihovom značaju, već zbog teškoća merenja. U ovoj glavi pozabavićemo se merenjima horizontalne komponente brzine i smera.

ODREĐIVANJE SMERA VETRA

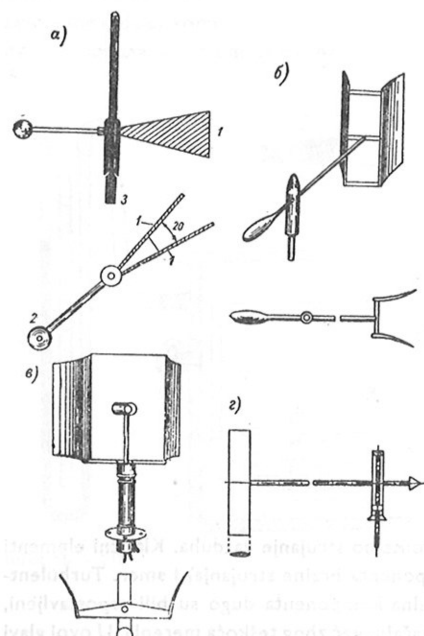
Smer vetra se najčešće određuje tzv. vetruljom, koja obično predstavlja uređaj, koji se sastoji od jedne ploče i protivtega, a čitav sistem može da se okreće oko vertikalne ose. Nekoliko primera prikazano je na sl. 1—VIII. Kada je sistem u ravnoteži, u vazdušnoj struji, protivteg je okrenut u smeru iz koga duva vetar.

Ukoliko vetrulja nije usmerena duž struje, javlja se sila pritiska na repnu površinu, koja obrće ceo sistem, ako je momenat sile pritiska veći od sume momenata trenja i inercije. Ako označimo tačnost ugla kojim se određuje smer sa $\Delta\alpha$, a minimalnu brzinu vetra koja tu tačnost može da ostvari sa V_0, imaćemo ravnotežu momenata sile pritiska i momenata trenja i inericije:

$$LS\,v_0^2\,\rho\,f(\Delta\alpha)=M_t+M_i$$

gde je L —dužina kraka sile pritiska, S površina ploče, ρ—gustina vazduha, $f(\Delta\alpha)$—funkcija ugla tačnosti koja zavisi od oblika vetrulje (za ravnu pravougaonu ploču je $f(\alpha)\approx\sin^2\Delta\alpha$). Prema tome osetljivost vetrulje zavisi od momenta trenja, inercije i aktivne sile koja se može prilagođavati potrebama time što se konstruiše odgovarajući oblik vetrulje. Na pr. za izučavanje strukture vetra vetrulja treba da bude vrlo osetljiva, dok naprotiv, za određivanje srednjih brzina treba da bude inertna. Pošto u oba slučaja treba da reaguje na male brzine vetra, potrebno je da momenti trenja i inercije budu mali, a momenat sile pritiska vetra bez faktora $f(\Delta\alpha)$ veliki.

Najčešće su u upotrebi vetrulje sa dve ploče u obliku klina (sl. 1—VIII, *a*). Ukoliko je ugao između ploča 20°, biće očevidno, ugao između ploče i vazdušne struje uvek za 10° veći od ugla između struje i uzdužne ose sistema. To će, dalje, davati veću silu pritiska nego što bi postojala kod sistema sa jednom pločom. To dovodi do bržeg prigušivanja oscilacija vetrulje pri promeni smera vetra.

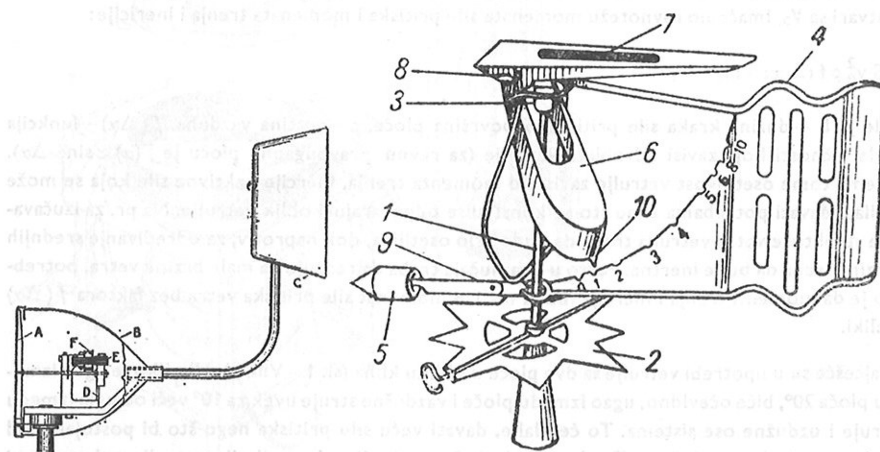


Slika 1 — VIII

MERENJE BRZINE VETRA

Najčešće se primenjuju instrumenti za merenje brzine vetra sa sledećim prijemnim delovima:
1. Pločica na koju vazdušna struja vrši pritisak. Brzina vetra se određuje merenjem toga pritiska (Sl. 2, 3, 13 i 22. VIII).

2. Sistem od nekoliko časica se vrti oko vertikalne ose. Brzina vetra se određuje po brzini obrtanja tih časica (Sl. 4 i 8—VIII).



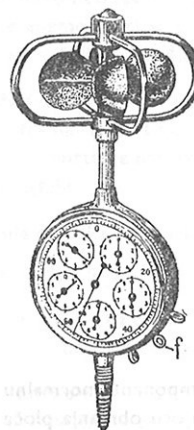
Slika 2 — VIII

Slika 3 — VIII

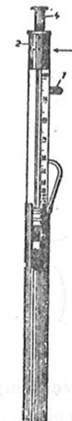
3. Elisa koja se vrti u vazdušnoj struji.

4. Prandtlova cev usmerena u susret vazdušnoj struji. Merenjem razlike pritiska određuje se brzina vetra (Sl. 5 i 9—VIII).

5. Tela čija se temperatura razlikuje od temperature vazduha. Brzina vetra se određuje na osnovu gubitka toplote tela (Sl. 6, 11 i 12—VIII).



Slika 4 — VIII



Slika 5 — VIII

PRIJEMNIK U OBLIKU PLOČICE

Aerodinamičkim eksperimentima je utvrđeno da je pritisak koji vrši vetar na nepokretnu ploču normalnu na pravac struje jednak:

$$P_0 = C \rho S v^2 \qquad (8.1)$$

gde je P_0 — sila u kilogramima, ρ—gustina u kp sec²/m², S—površina u m², v—brzina vetra u m/sec, C—koeficijent proporcionalnosti. Za pravougaonu ploču C je 0,64.

Ako uzmemo da je pri 15°C gustina = 0,125 kp sec²/m², dobijamo $P_0 = 0{,}085\, v^2$, tj. sila pritiska je srazmerna kvadratu brzine vetra.

Ukoliko je pločica nagnuta pod nekim uglom u odnosu na smer vetra obično se pribegava eksperimentalnom određivanju sile pritiska jer je teorisko izvođenje u tom slučaju vrlo komplikovano. Ovde ćemo dati izvođenje koje važi samo za male uglove između smera vetra i normale na ploču.

Pretpostavimo da na neku površinu S (Sl. 7—VIII) postavljenu pod napadnim uglom β na smer vetra, deluje sila P_1. Tu silu ćemo rastaviti na dve komponente, normalnu na površinu S i paralelnu sa njom. Na ploču vrši pritisak samo sila P_n koja je jednaka:

$$P_n = P_1 \sin\beta \qquad (8,2)$$

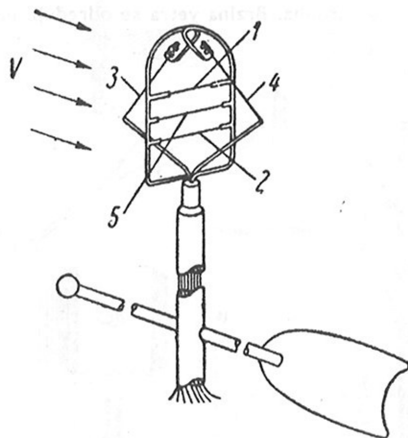
Sila P_1 može se izraziti pomoću sile P_0, koja dejstvuje na vertikalnu pločicu:

$$P_1 = P_0 \sin\beta = C \rho S v^2 \sin\beta \qquad (8,3)$$

$$P_n = C \rho S v^2 \sin^2\beta \qquad (8,4)$$

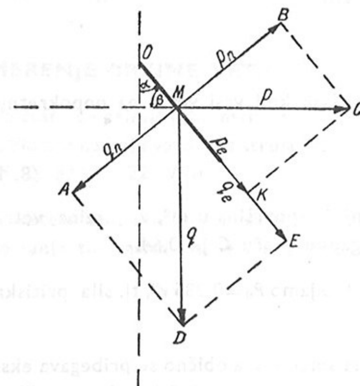
Vrednost aerodinamičkog koeficijenta C određuje se za različite uglove nagiba ploče eksperimentalnim putem.

Na obešenu ploču (sl. 7—VIII) u ravnomernom vetru deluju dve sile, sila težine g i sila pritiska vetra P. Sila težine je konstantna dok se sila pritiska menja u zavisnosti od položaja ploče. Pod dejstvom vetra pločica skreće za ugao α. U tom položaju postoji ravnoteža između komponente težine pločice i normalne komponentne sile pritiska.



Slika 6 — VIII

Sila g težine ploče može se rastaviti na dve komponente (Sl. 7—VIII) na komponentu normalnu na ploču q_n i na komponentu paralelnu sa pločom q_n. Sila K samo deformiše osu obrtanja ploče i ne učestvuje u podizanju ploče. Silu P možemo takođe rastaviti na komponente P_n i P_t.



Slika 7 — VIII

Pločica je očevidno u ravnoteži ako su u ravnoteži sile q_n i P_n. Sa Sl. 7—VIII se vidi da je:

$$q_n = g \sin \alpha \tag{8,5}$$

P_n je dato jednačinom (8,4). Pošto je $\alpha + \beta = 90°$ biće $\sin \beta = \cos \alpha$ pa dobijamo:

$$P_n = C \rho S v^2 \cos^2 \alpha \tag{8,6}$$

Pošto posmatramo slučaj ravnoteže ploče biće:

$$g \sin \alpha = C \rho S v^2 \cos^2 \alpha \tag{8,7}$$

ili rešeno po v: $$v = \sqrt{\frac{g \operatorname{tg} \alpha}{C \rho S \cdot \cos \alpha}} \tag{8,8}$$

Ako napišemo: $$A = \sqrt{\frac{g}{C \rho S \cdot \cos \alpha}} \tag{8,9}$$

Za male uglove skretanja biće:

$$v = A \sqrt{\operatorname{tg} \alpha} \tag{8,10}$$

Treba imati u vidu da je formula (8,10) samo približno tačna i da važi jedino za male uglove skretanja. Na Sl. 2—VIII i 13—VIII prikazani su anemometri koji rade na ovom principu.

PRIJEMNIK U OBLIKU OBRTNIH ČAŠICA

Anemometri sa čašicama daju srednju brzinu vetra za neki interval vremena. Najčešće se koriste anemometri sa tri i četiri časice. Ovde ćemo razmotriti dejstvo vetra na anemometar sa četiri čašice. (sl. 4,8—VIII).

Pod dejstvom vetra čašice počinju da se obrću u smeru kazaljke na časovniku, pošto je pritisak vetra na čašicu 1 veći nego na časicu 2. Posle obrta od 90° u položaj čaša 1 i 2 dolaze čaše 3 i 4, pa se obrtanje nastavlja sa ubrzanjem. Pošto se dostigne izvesna brzina obrtanja, dalje ubrzanje prestaje.

Sila pritiska koja deluje na čašicu 1 iznosi:

$$P_1 = C_1 \rho S (w - v)^2 \tag{8,11}$$

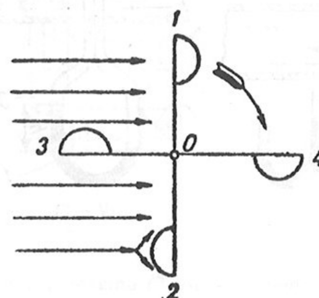
gde je P_1—sila pritiska vetra na čašu, C_1—koeficijent koji zavisi od oblika čaše, ρ—gustina vazduha, S—površina čaše, w—brzina vetra, v—linearna brzina kretanja čaše.

Iz formule se vidi, da sila pritiska na čašu okrenutu prema vetru ugnutom stranom opada ukoliko se anemometar brže okreće. Sila pritiska na čašu dva biće:

$$P_2 = C_2 \rho S (w + v)^2 \tag{8,12}$$

Sila pritiska vetra na čašu 2 raste sa porastom brzine obrtaja anemometra. Zbog toga će u momentu kada nastupi $P_1 = P_2$ tj. kada se izjednače sile pritiska na čašu 1 i 2, prestati dalji porast brzine v. Od toga momenta važi:

$$C_1 (w - v)^2 = C_2 (w + v)^2 \tag{8,13}$$



Slika 8 — VIII

Za poluloptaste čašice važi $C_1/C_2 = 4$. Na osnovu toga iz jednačine (8,13) lako se izračunava da je:

$$w/v = 3 \tag{8,14}$$

tj. linearna brzina obrtanja polusferne čašice dostiže jednu trećinu od brzine vetra. To je tzv. koeficijent Robinsona. Za čašice drugog oblika C_1 i C_2 imaju druge vrednosti, pa je i odnos w/v drukčiji.

Na osnovu formule (8,14) mogu se brojila anemometra tako konstruisati da pokazuju brzinu vetra. Ipak ispitivanja su pokazala da odnos brzine vetra i brzine obrtanja čašica nije stalan, već

da zavisi od brzine vetra i od individualnih osobina anemometra. Zbog toga je potrebno baždariti anemometre u aerodinamičkom tunelu.

PRIJEMNIK U OBLIKU ELISE

Kao prijemni deo anemometra može se iskoristiti i elisa. Ravan obrtanja elise treba da bude normalna na vazdušnu struju, a osovina obrtanja u pravcu vazdušne struje.

Neka su krila elise nagnuta pod uglom α na pravac vetra. Vazdušna struja deluje na ploču silom P normalnom na ravan ploče. Slično kao u jednačini (8,3), biće:

$$P = C \rho v^2 S \sin \alpha \qquad (8,15)$$

gde je v—brzina struje, ρ—gustina vazduha, S—površina krila, α—napadni ugao, C—koeficijent koji zavisi od napadnog ugla i oblika krila. Elisa se obrće pod dejstvom sile P_1 normalne na pravac vetra. Sila P_1 iznosi:

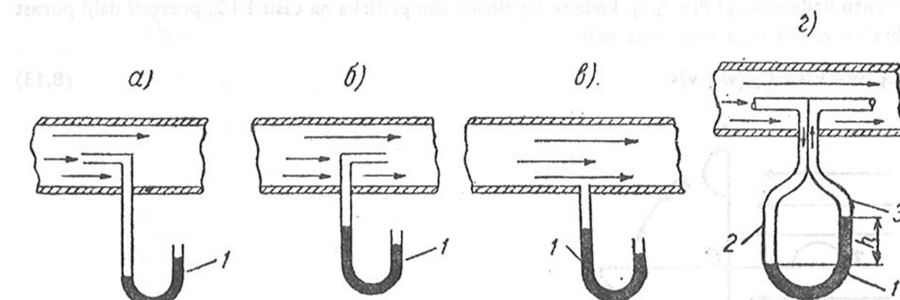
$$P_1 = P \cos \alpha = C \rho v^2 S \sin \alpha \cos \alpha \qquad (8,16)$$

Nedostatak anemometra sa elisom je u tome što kao i anemometri sa pločom moraju da budu orijentisani u pravcu vetra. Ipak odstupanje elise za 15° do 20° ne utiče znatno na njenu brzinu obrtanja.

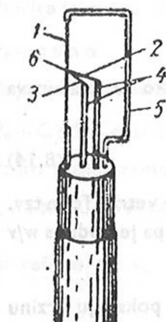
MANOMETRIJSKA METODA ODREĐIVANJA BRZINE VETRA

Pritisak vazdušne struje može se izraziti pomoću Bernulijeve jednačine:

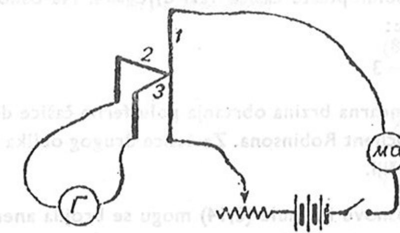
$$P_1 = P_{st} + \rho \frac{v^2}{2} \qquad (8,17)$$



Slika 9 — VIII



Slika 10 — VIII



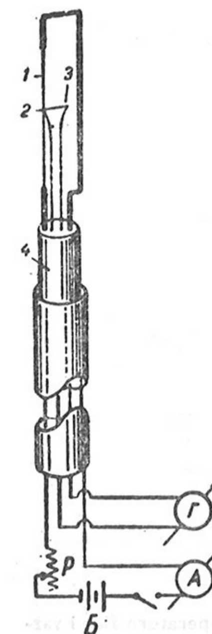
Slika 11 — VIII

gde je P_{st}—statički pritisak, $\rho \frac{v^2}{2}$—dinamički pritisak. Prema tome, ako je poznat statički pritisak P_{st} i ukupni pritisak p_1, može se izračunati brzina struje.

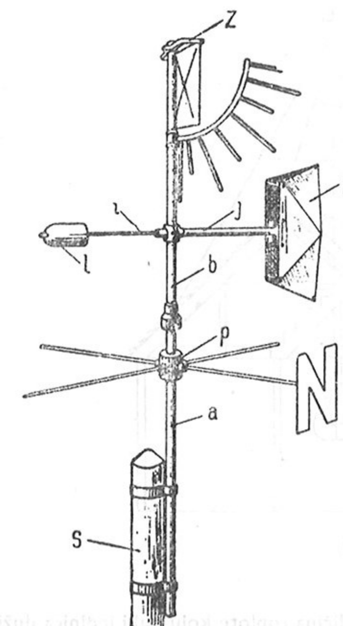
Neposredno određivanje ukupnog pritiska je jednostavno. Potrebno je Pito — cev spojiti sa manometrom i manometar će pokazivati pritisak na njenom otvoru okrenutom vazdušnoj struji (Sl. 9). Međutim ni određivanje statičkog ni dinamičkog pritiska nije tako jednostavno. Da bi se izbegle te teškoće postupa se na sledeći način. Ako se Pito-cev okrene niz vetar manometar će pokazivati neki pritisak niži od stvarnog:

$$P_2 = P_{st} - k \rho \frac{v^2}{2} \qquad (8,18)$$

gde je k—neki konstantni koeficijent, određen eksperimentom.



Slika 12 — VIII



Slika 13 — VIII

Ako jednačinu (8,18) oduzmemo od jednačine (8,17) dobićemo:

$$P_1 - P_2 = h = \rho \frac{v^2}{2} + \rho \frac{kv^2}{2} = \rho \frac{v^2}{2} (1+k) \qquad (8,19)$$

$$v = \sqrt{\frac{2h}{(1+k)\rho}} \text{ m/sec} \qquad (8,20)$$

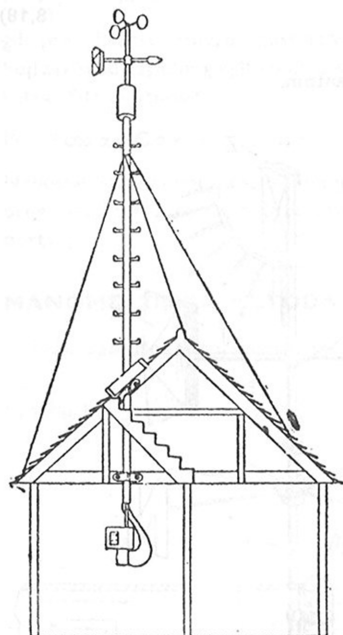
gde je h — razlika pritiska između cevi okrenute ka vetru i cevi okrenute niz vetar, merena u mm vodenog stuba, k—zavisi od oblika cevi i određuje se za svaku cev posebno. Taj koeficijent zadržava svoju vrednost sa tačnošću od 1% dokle god je odstupanje ose cevi od vazdušne struje manje od 15°.

METOD HLAĐENJA

Telo čija je temperatura viša od temperature okoline gubi toplotu srazmerno sa brzinom kretanja vazduha u odnosu na to telo.

Najčešće kao prijemnik za merenje brzine vetra na osnovu ovog principa, koristi se zagrejana žica (Sl. 11, 12—VIII). Količina toplote koju gubi zagrejana žica postavljena normalno na vazdušnu struju, data je jednačinom:

$$Q=(k+\sqrt{2\pi\cdot kS\rho\, vd})\,\Delta T \qquad (8{,}21)$$



Slika 14 — VIII

gde je Q**—količina toplote koju gubi jedinica dužine žice,** ΔT**-razlika temperature žice i vazduha,** d**—prečnik žice,** v**—brzina vazdušne struje,** k**—toplotna provodljivost vazduha,** ρ**—gustina vazduha,** S**—površina tela.**

Ako uzmemo da su k, S **i** d **konstante formula (8,21) se može napisati u obliku:**

$$Q=(A+B\sqrt{v})\,\Delta T \qquad (8{,}22)$$

a ako uzmemo da je i ΔT **konstantno biće**

$$Q=A_1+B_1\sqrt{v} \qquad (8{,}23)$$

gde su A, B, A_1 B_1 **konstante.**

Da bi se održala stalna temperatura žice, kroz nju se propušta električna struja. Tada je:

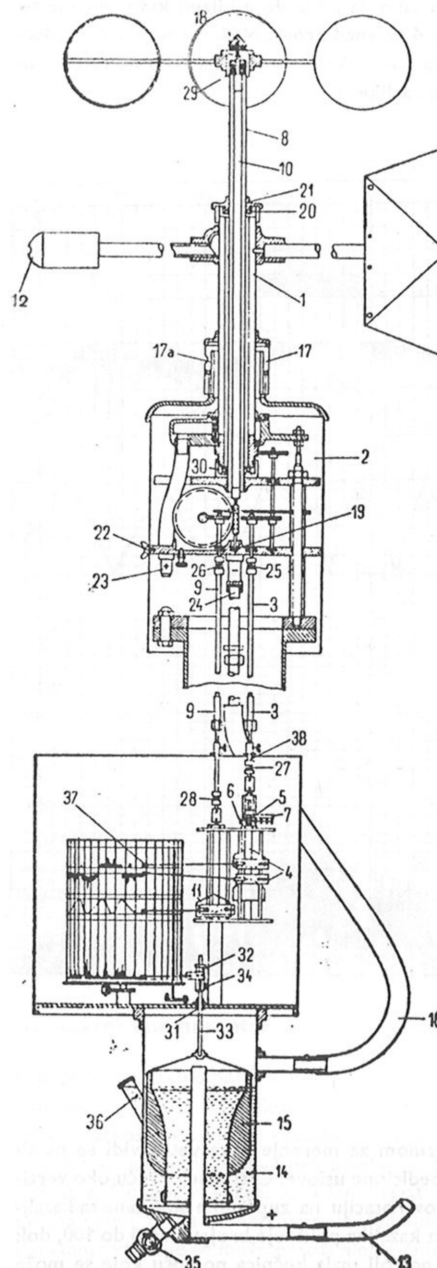
$$i^2=A_2+B_2\sqrt{v} \qquad (8{,}24)$$

gde je i**—jačina električne struje propuštena kroz žicu,** A_2 **i** B_2 **konstante koje zavise od** A_1, B_1 **i otpora žice** R.

ANEMOMETRI

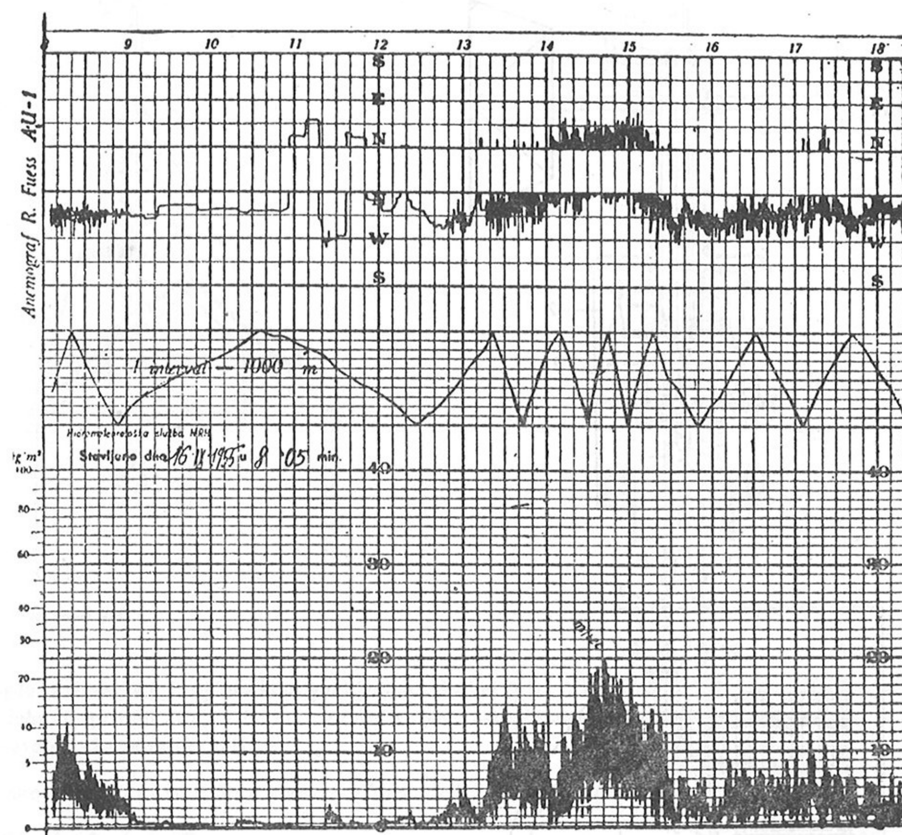
Vildov vetrokaz

Ovaj vetrokaz je u širokoj upotrebi kod nas (Sl. 13—VIII). Vetar udara u obešenu pločicu koja usled toga skreće. Za merenje služi luk sa podeocima koji su određeni eksperimentalno. Težina ploče je 200 grama, a dimenzije su 15×18 santimetara. Za merenje većih jačina vetra upotreb-



Slika 15 — VIII

ljava se pločica od 800 grama, pa se meri i brzina od 40 m/sec. Za merenje pravca vetra služi jednostavna vetrulja i krst sa četiri glavna pravca sveta i četiri sporedna pravca. Pokretanjem vetrulje pokreće se i gornji deo vetrokaza, na kome je pričvršćen luk sa podeocima i obešena pločica. Ceo uređaj je potrebno podmazivati radi smanjivanja trenja. Krst za pokazivanje strana sveta mora da se orijentiše ili pomoću busole ili pomoću meridijana. U toku sunčanog dana obeleži se u lokalno podne senka i dobije pravac meridijana. Kod kompasa mora da se zna magnetna deklinacija, jer bi se inače pojavila sistematska greška. Za noćna osmatranja se postavljaju reflektori koji osvetljavaju stub. Stub se postavlja tako da ne bude u blizini kuća. Ako je to nemoguće onda se postavlja na kuću i tada je visok 4 m iznad krova. Na krov se postavlja platforma. Ako u blizini stuba ima kuća, viših od stuba, vetrokaz se postavlja tako da rastojanje između stuba i kuće bude 20 puta veće od visinske razlike.

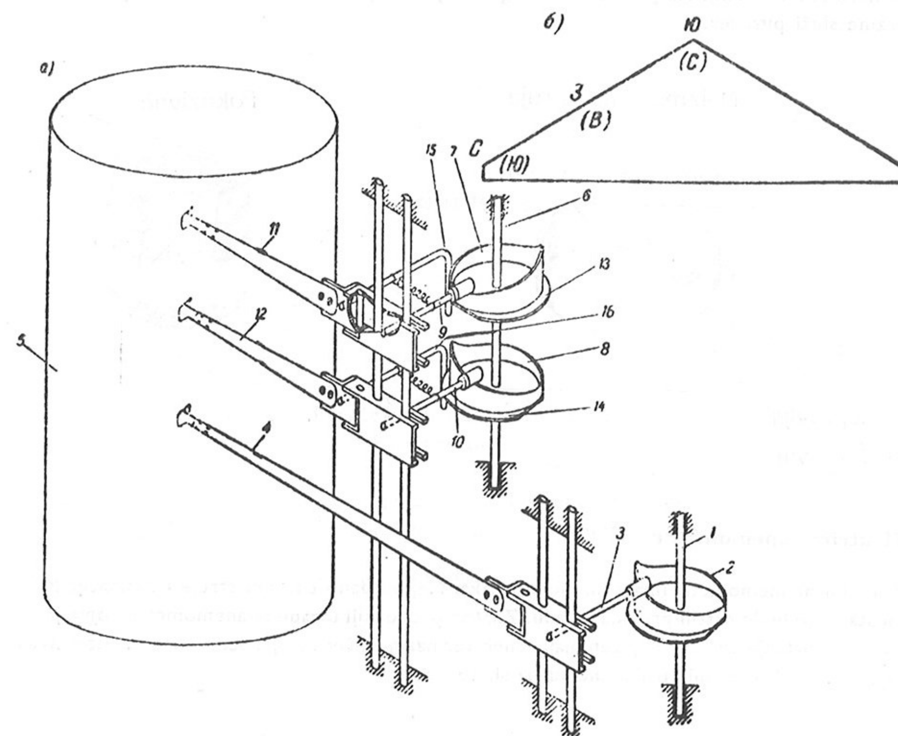


Slika 16 — VIII

Anemometri sa čašicama

Konstrukcija anemometara sa čašicama i mehanizmom za merenje puta vetra vidi se na sl. 4—VIII. Ova vrsta anemometra je pogodna za ekspedicione uslove. Čašice se okreću oko vertikalne ose koja na donjem kraju pomoću puža prenosi rotaciju na zupčanike povezane sa kazaljkama. Kazaljke pokazuju broj obrtaja čašica. Velika kazaljka pokazuje brojeve od 0 do 100, dok male table imaju jedinice 10^2, 10^3 itd. Sa strane postoji mala kočnica pomoću koje se može anemometar uključiti ili isključiti (Sl. 4—VIII-*f*).

Anemometar se postavlja vertikalno na drveni stub pomoću zavrtnja ugrađenog u donjem delu. Tabla sa brojačem treba da bude okrenuta niz vetar, tako da osmatrač stoji iza anemometra i ne zaklanja ga.



Slika 17 — VIII

Osmatranje se vrši tako što se istovremeno pomoću kočnice uključuje brojač i štoperica. Za određivanje srednje brzine vetra brojač radi 10 minuta, posle čega se isključuje. Dobivena razlika na brojaču deli se sa 600 i dobija se broj obrta u sekundi. Na ovom anemometru je prenos često tako urađen da jednom podeoku na skali odgovara jedan metar puta vetra. Tada se merenjem dobija brzina u m/sec.

Kontaktni anemometar

Prenosni deo anemometra je sve češće električni. Anemometar sa čašicama je povezan sa malim zupčanikom, a ovaj sa velikim na kome se nalazi jedan točak sa bregom. Kada se obrne veliki točak i uspostavi kontakt kazaljka ostavlja markicu na papiru. U zavisnosti od brzine vetra markice su gušće ili ređe. Anemometri su postavljeni tako da mere brzinu vetra na raznim visinama. Oni su svi vezani za jedan registrirni instrument. Traka nije postavljena na doboš već na rolnu koja se menja jednom nedeljno. Pero ima stakleni balon u koji se sipa mastilo. I kretanje vetrulje se može pratiti električnim putem. Uz indukcioni kalem se nalazi magnetna igla, koja skreće baš kao i vetrulja. Klizač je povezan sa vetruljom i pošto se dovodi struja u kalem on utiče na magnetnu iglu da skreće na isti način kao i vetrulja (Sl. 18—VIII).

Fusov anemograf

Fusov anemograf meri smer vetra, put (srednju brzinu) vetra i trenutnu brzinu vetra (Sl. 14 i 15—VIII). Ove tri veličine on registruje na traci. Na slici 16—VIII je dat izgled takve trake. Jedna kazaljka piše pravce *S E N*, a druga *N W S*. Pokretanje kazaljki vrši se pomoću segmenata cilindra (Sl. 17—VIII). Za put vetra se registracija vrši pomoću čašica. Za merenje trenutne brzine služi pito-cev.

Naizmenična struja
Pokazivač
Potenciometar vezan za vetrulju
Ispravljač

Slika 18 — VIII

Električni anemometar

Kontakntni anemometri imaju niz nedostataka. Nepouzdanost izvora struje i oksidacija kontakata dovode do čestih prekida u radu. Znatno pouzdaniji u radu je anemometar kome je na osovinu obrtanja čašica priključen mali generator nazimenične struje. Šeme toga anemometra i njegovog funkcionisanja prikazane su na sl. 19—VIII.

Slika 19 — VIII

Kao rotor generatora služi stalni magnet sa više polova. Rotor (2) se nalazi na osovini čašica anemometra i rotira sa njima. Stator (1) ima isti broj kalema koliko i rotor ima polova. Pokazivač brzine je merni instrument (3). Ispravljač se sastoji od dioda, odnosno tranzistora (4). Na šemi *a*) i *b*) sl. 19—VIII prikazan je smer struje kroz merni isnstrument. Ovaj merni instrument može biti i registrirni, u tom slučaju na tom delu šeme priključuje se galvanograf, Na slici 18—VIII prikazan je princip električnog prenosa smera vetra.

Slika 20 — VIII

Anemograf Čadeža

Ovo je najpoznatiji anemograf domaće konstrukcije. Njime se meri i registruje trenutna brzina vetra i smer. Prijemni elemenat je približno vertikalna ravna ploča, vezana u jedan sistem sa vetruljom. Vetrulja okreće ploču tako da je uvek okrenuta ka vetru. Smer se određuje vetruljom prikazanom na sl. 22—VIII Registrovanje (Sl. 21—VIII) smera se vrši pomoću dva pera, koja se naizmenično uključuju pomoću spirale, koja se nalazi na omotaču cilindra (Sl. 23—VIII).

Brzina vetra određuje se silom pritiska na ploču koja se postavlja normalno na smer vazdušne struje.

Aerodinamički pritisak na ploču iznosi:

$$P = C \rho S v^2$$

Ova sila prenosi se preko poluga (Sl. 21—VIII) na sistem tegova (Sl. 24—VIII). Tegovi imaju oblik kružnih prstenova. Pri slabom vetru podiže se samo najdonji teg. Kako vetar jača, podižu se i ostali tegovi.

Tegovi su dimenzionirani tako da se pri povećanju brzine vetra za 1 m/sec podiže jedan teg više. S obzirom da aerodinamička sila raste sa kvadratom brzine i ukupna težina tegova raste na isti način, odnosno:

$$\sum_{i=1}^{n} g_i = C \rho S v^2$$

gde je *g* težina pojedinih tegova.

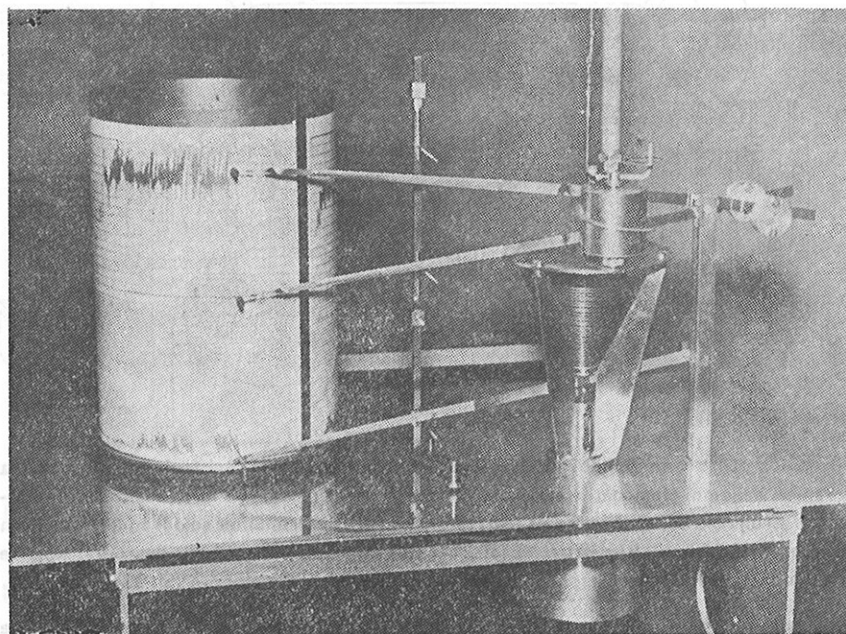
Ako želimo da skala bude linearna, uzećemo da ıe *n*—broj tegova, jednak brzini vetra u metrima u sekundi, *C ρ S* se može smatrati kao konstanta instrumenta, jer se promene gustine vazduha i nagiba pločice zanemaruju, pa se i ρ i *C* smatra konstantnim. S obzirom da je promena nagiba pločice znatno manja nego kod drugih anemometara sa ravnom pločom, ove pretpostavke su sasvim opravdane.

Tako možemo pisati:

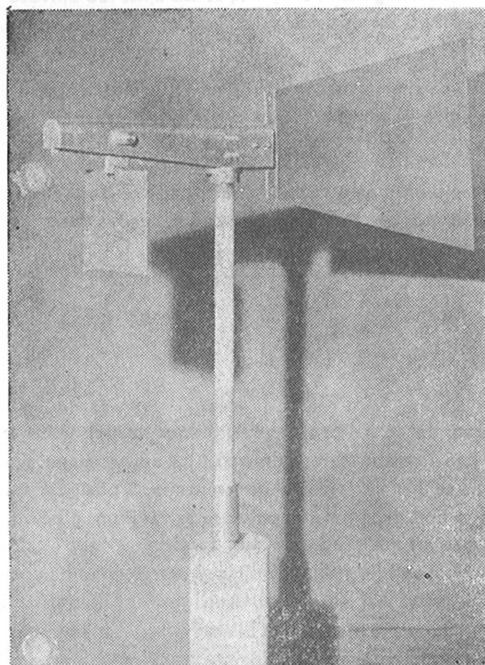
$$\sum_{i=1}^{n} g_i = C \rho S n^2$$

Ako prethodnu jednačinu napišemo u obliku integrala biće:

$\int g(n)\, dn = C \rho S n^2$



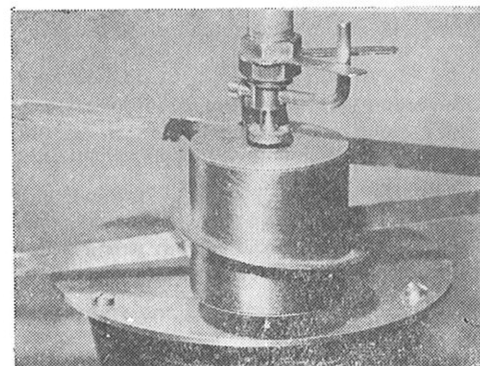
Slika 21 — VIII



Slika 22 — VIII

ili:

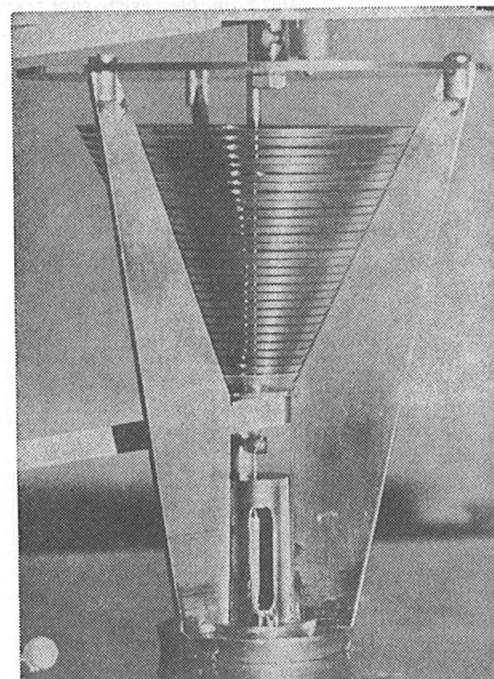
$g(n) = 2\, C \rho S n$



Slika 23 — VIII

Vidimo da je težina *n*-te ploče, koja se podiže pri brzini *V* m/sec srazmerna brzini vetra. Drugim rečima težina pojedinih ploča treba da raste linearno, a suma težina podignutih ploča da raste sa kvadratom brzine. Izabrane su ploče jednake debljine, a njihove težine srazmerne su njihovim površinama S_p:

$g(n) = A \cdot S_p = A \cdot (R^2 - r^2)\, \pi$



Slika 24 — VIII

gde je *R* poluprečnik spoljnjeg kruga prstena, *r* — poluprečnik unutrašnjeg kruga prstena, *A* — koeficijenat srazmere, koji zavisi od debljine pločice i specifične težine materije pločice: *A* = s. *d* — gde je s — specifična težina, a *d* — debljina pločice.

Imamo dakle:

$$2\,C\,\rho\,Sn = sd\,(R^2 - r^2)\,\pi$$

odnosno

$$2\,C\,\rho\,Sn = s\,\pi\,d\,(R_n^2 - r_n^2)$$

Ovde je *n* istovremeno i broj aktivirane pločice i brzina vetra u m/sek.

Ako uzmemo da su pločice složene jedna iznad druge u jednoj konusnoj šupljini, vidimo da je:

$$R = n\,(d + h)\,\mathrm{tg}\,\frac{\alpha}{2}$$

gde je α — ugao konusa, *d* — debljina pločice, *h* — rastojanje između pločica, pa se dobija

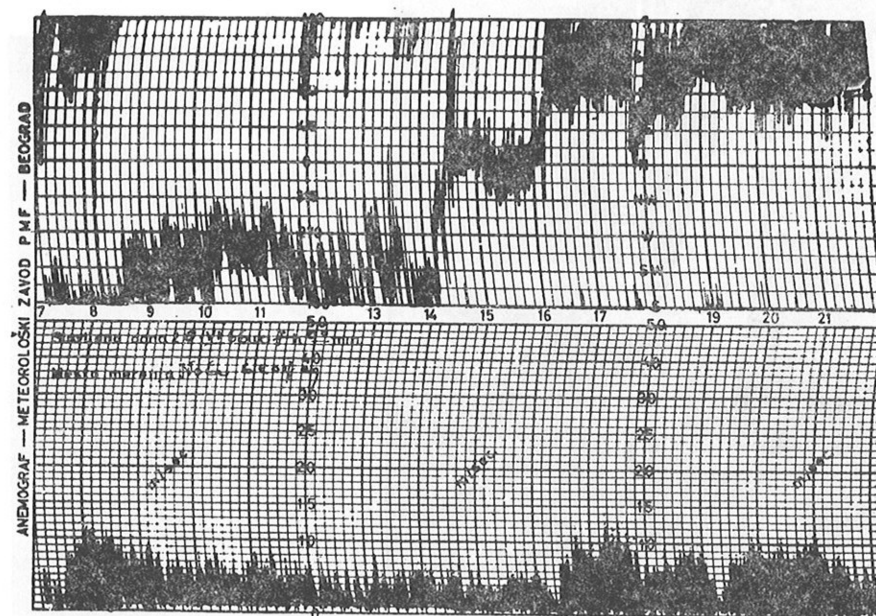
$$2\,C\,\rho\,Sn = s\,\pi\,d\left[n^2\,(d + h)^2\,\mathrm{tg}^2\,\frac{\alpha}{2} - r_n^2\right]$$

odnosno, rešeno po r_n koje nam daje unutrašnji poluprečnik kružnog prstena:

$$r\,(n) = \sqrt{(d + h)^2\,\mathrm{tg}^2\,\frac{\alpha}{2}\,n^2 - \frac{2\,C\,\rho\,S}{s\,\pi\,d}\,n}$$

To je jednačina krive kojom se opisuje unutrašnji konus. Na osnovu nje se izračunavaju dimenzije pojedinih prstenova.

Registrovanje merenja vrši se pomoću doboša sa satnim mehanizmom. Na registrirnoj traci postoje dve staze. Jedna za pero kojim se registruje brzina vetra, jedna za pera kojima se registruju smerovi (Sl. 25—VIII).



Slika 25 — VIII

Svako od pera može da registruje sve smerove, ali se smena pera vrši pri prolazu kroz smer S.

Pokretanje pera se vrši pomoću spirale omotane oko cilindra vezanog za osu vetrulje. Smena pera nastupa kada jedno pero dođe do gornjeg kraja spirale. To se dešava u momentu kada vetrulja pokazuje ka jugu. Na traci je južni smer na donjoj i gornjoj ivici staze. Sever je na sredini.

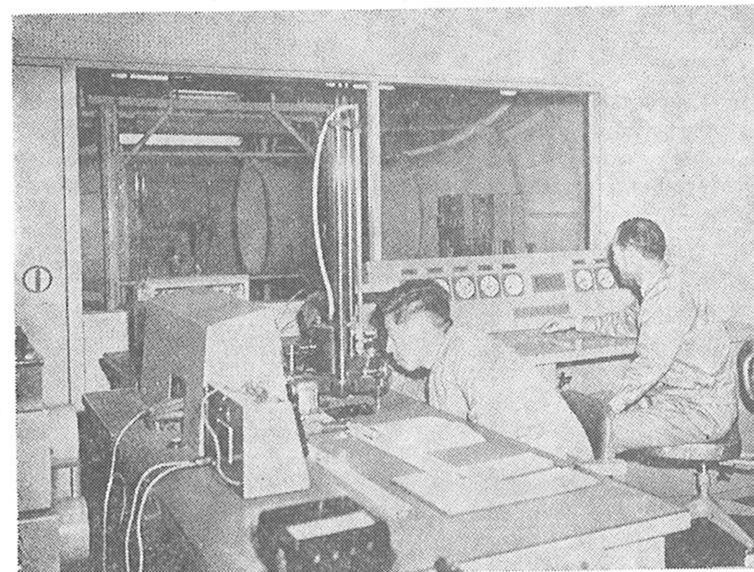
Brzina se registruje u opsegu od 0 do 50 m/sec.

U posebnoj posudi ispod tegova za merenje brzine nalazi se uljni amortizer oscilacija, tako da se oscilacije prouzrokovane naglim promenama jačine vetra amortizuju. Jedno od preimućstava ovog anemografa se i inače nalazi u dobrom prigušivanju oscilacija, jer se uvek pri slabljenju pritiska vetra smanjuje broj pločica koje se kreću naniže. Na pr. pri slabljenju vetra sa 7 na 5 m/sec, sedma i šesta pločica se zaustavljaju na svojim ležištima, masa sistema koji se kreće naniže smanjuje se, a time se smanjuje i njegova inercija. Zahvaljujući tome pokazivanje minimalnih brzina vetra je tačnije nego kod drugih anemometara.

Baždarenje anemometara

Baždarenje anemometara vrši se u specijalnim aero-tunelima u kojima se može regulisati brzina vazdušne struje. U tu vazdušnu struju se pored istrumenta koji se baždari postavlja i etalon. U struji se nalaze obično samo prijemni elementi instrumenata, dok se ostali delovi (napr. registrator), drže po mogućstvu izvan kanala, da ne bi remetili vazdušnu struju.

Aero-tuneli (ili vind-kanali) se dele na dva osnovna tipa: direktne ili otvorene i zatvorene (Sl. 20—VIII). Dimenzije ovih aero tunela mogu da se kreću od stonih za proveru ručnih anemometara do džinovskih kod kojih je dužina kanala oko 100 metara (Sl. 26). Ovi veliki se koriste za dobijanje orkanskih brzina vetra i postoje u zemljama koje su zainteresovane za proučavanje tajfuna, napr. u Japanu.



Slika 26 — VIII

Brzina vazdušne struje u aero-tunelima određuje se pomoću manometriskih metoda. Promene u brzini struje prilikom baždarenja postižu se promenom brzine rada turbine.

Tunel se sužava na onom delu gde se vrše baždarenja, tako da je i brzina struje na tom delu najveća. Turbulencija struje se svodi na minimum pomoću rešetki u obliku šupljeg saća. Te rešetke su obeležene sa 3 na Sl. 20—VIII.

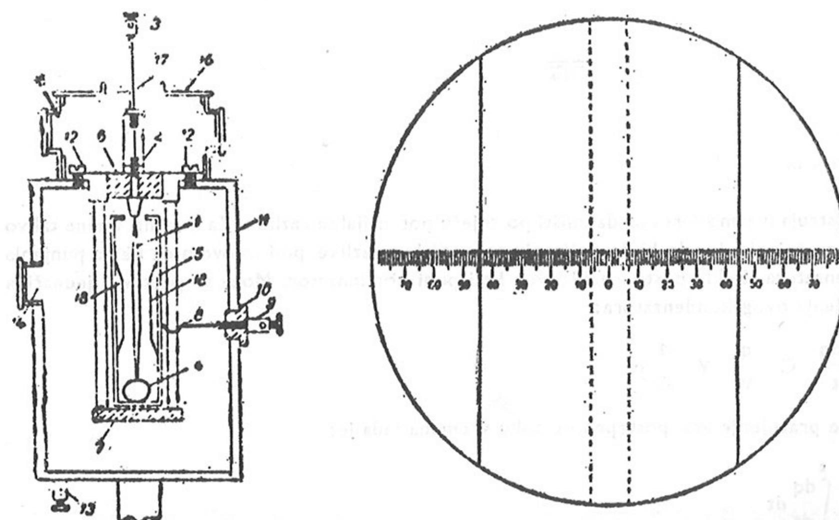
IX

MERENJE ELEMENATA ATMOSFERSKOG ELEKTRICITETA

Od elemenata atmosferskog elektriciteta najčešće se mere jačina električnog polja, spektar jona, provodljivost električne struje u atmosferi, radioaktivnost i električna pražnjenja. Jedna od glavnih osobina električnih pojava u atmosferi je širok dijapazon intenziteta tih pojava. Napr. jačine električnih struja su pri lepom vremenu oko 10^{-16} *A*/cm², a u munjama iznose po nekoliko hilja da ampera. Zbog toga pribori za merenje jednog elementa ne mogu da se korist u čitavom opsegu, već se za male intenzitete koristi jedna vrsta instrumenata, a za velike druga vrsta instrumenata.

ELEKTROMETRI

Elektrometar je instrument za merenje potencijala. Na dve elektrode se priključuju kolektori koji primaju potencijal sredine, tj. mesta na kome se nalaze. Na jednoj elektrodi se nalaze dve paralelne žice, dok je druga priključena za par žica pričvršćen na unutrašnjem zidu instrumenta (sl. 1—IX). Ukoliko između elektroda ne postoji potencijalna razlika žičice u sredini će biti jed-

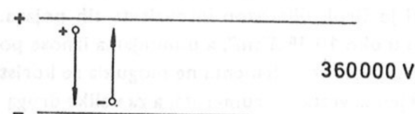


Slika 1 — IX

na uz drugu jer ih zateže elastična opruga pri dnu. Sa pojavom potencijalne razlike doći će do privlačenja žica pričvršćenih uz zid instrumenta i žica u sredini instrumenta. Usled toga će se žice u sredini razmicati. Posmatranjem toga razmaka pomoću mikroskopa sa skalom (sl. 1—IX, desno) može se odrediti intenzitet naelektrisanja kolektora, odnosno potencijalna razlika između dva kolektora. Uz instrument obično ide i lista baždarenja pomoću koje se na osnovu pokazivanja instrumenta određuje potencijalna razlika između dva kolektora. Na sl. 9 je pokazano rešenje pomoću jedne žičice, a na sl. —10 pomoću pločice koja se okreće oko osovine.

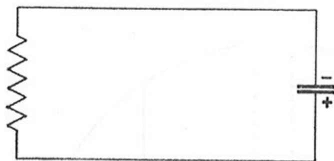
FORMIRANJE ELEKTRIČNOG POLJA U ATMOSFERI I OBLACIMA

Zemljina površina se može smatrati kao provodnik na kome ne može biti nagomilavanja elektriciteta, pa je zemljina površina ekvipotencijalna površina. Na visini oko sto kilometara je jonosfera, sloj u kome su čestice vazduha pretežno jonizovane pa se može smatrati takođe kao provodnik. Na taj način mi ustvari imamo ogromni kondenzator čija je jedna ploča zemljina površina, a druga jonosfera. Između njih je čitava atmosfera. Potencijal, razlika između tih dveju ploča je oko 360.000 V. Pošto se atmosfera ne može smatrati potpuno neprovodljivom postoji struja između tih ploča. Struja se prenosi pomoću jona. U atmosferi uvek ima manje ili više jona nastalih jonizujućim zračenjem. Pri tlu su uzroci te jonizacije radioaktivni elementi, a na visini kosmički zraci. Uticaj kosmičkih zraka se menja sa visinom i u nižim slojevima je manja produkcija usled slabljenja kosmičkih zračenja. Maksimalna produkcija je na visini oko 12 km. Na slici 2—IX dat je šematski prikaz jonske struje u atmosferi. Ovako formirano polje je



Slika 2 — IX

polje lepog vremena. Pad napona nije ravnomeran po čitavoj visini. Na malim visinama iznosi oko 1,3 V/cm, na većim visinama je ta promena potencijala sa visinom manja. Međutim, to su vrlo male količine naelektrisanja. Jonska struja se sastoji iz jonskih struja u dva smera. Može se napraviti jedna električna šema koja odgovara ovoj predstavi o atmosferi (sl. 3—IX).



Slika 3 — IX

onsta struja u atmosferi teži da uništi postojeću potencijalnu razliku. Za izvesno vreme takvo edno pražnjenje dovelo bi do uništenja potencijalne razlike pod uslovom da nema punjenja kondenzatora. Dakle postoji neki izvor koji puni kondenzator. Može se postaviti jednačina pražnjenja ovog kondenzatora:

$$i=\frac{-dq}{dt} \quad C=\frac{q}{V} \quad V=\frac{1}{C}q$$

Ako se pražnjenje vrši postepeno u toku vremena tada je:

$$q=+\int_0^t \frac{dq}{dt}dt$$

Po Omovom zakonu

$$V=iR \quad iR=-\frac{1}{C}q$$

$$R\frac{dq}{dt}=-\frac{1}{C}q; \quad \frac{dq}{q}=\frac{-1}{RC}dt$$

$$\ln q=-\frac{t}{RC} \quad q=q_0e^{-\frac{t}{RC}}$$

Odavde se može izračunati vreme *t* za koje će naelektrisanje opasti e puta. Ako stavimo da je *t* jednako *RC*:

$q/q_0=1/e$

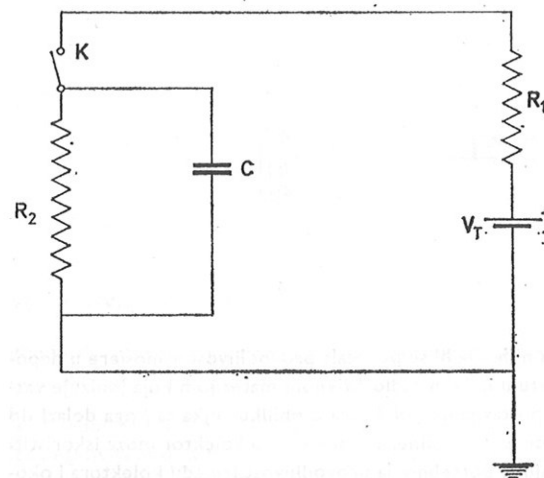
Ako hoćemo da vrednost opadne na 1% tj.

$$q=\frac{q_0}{100} \quad t=5\,RC$$

Ukupno vreme je oko 15 min.

Ovo se sve odnosi na električno polje pri lepom vremenu. Pri nepogodama *E* menja inetenzitet, a može čak i znak. Ta promena znaka *E* je ustvari osnov za ponovno punjenje našeg kondenzatora.

U oblacima vertikalnog razvića (kumulonimbus) raspored naelektrisanja je takav, da imamo u oblaku smer polja suprotan od smera pri lepom vremenu. Pošto u kumulonimbusu postoji proces razdvajanja naelektrisanja i formiranja polja suprotnog smera te promene možemo smatrati izvorom električne struje. Šema se sada komplikuje (sl. 4—IX).



Slika 4 — IX

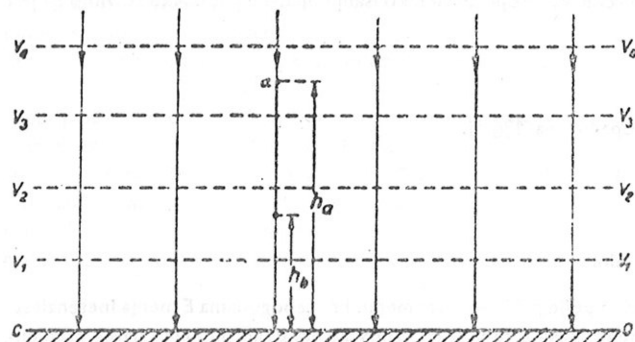
Uključivanjem izvora *Vt* puni se kondenzator *C*, tj. u kumulonimbusu se povećava potencijalna razlika između tla i viših slojeva.

MERENJE JAČINE POLJA

Jačina električnog polja može da se definiše kao pad napona po jedinici dužine, tj. rastojanja između dve tačke u kojima se meri potencijal. Ako se pretpostavi, da se potencijal menja linearno sa rastojanjem, dobiće se:

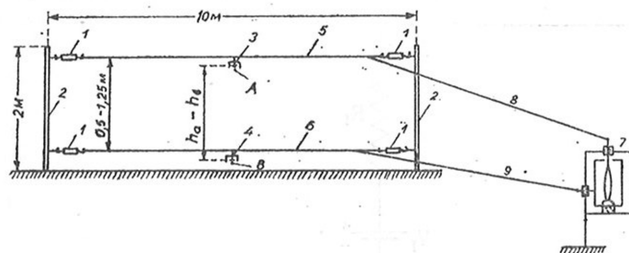
$$E=\frac{V_a-V_b}{h_a-h_b} \qquad (9,1)$$

gde je E—jačina polja između tačaka A i B, V—potencijal u odgovarajućoj tačci, a h—visine tih tačaka (Sl. 5—IX).



Slika 5 — IX

To znači da je za određivanje jačine električnog polja dovoljno meriti potencijal u dve tačke polja. To se postiže tako što se u dve izabrane tačke postavljaju kolektori A i B, koji primaju potencijal okoline (Sl. 6—IX). Ti kolektori se povezuju provodnicima sa klemama elektrometra,



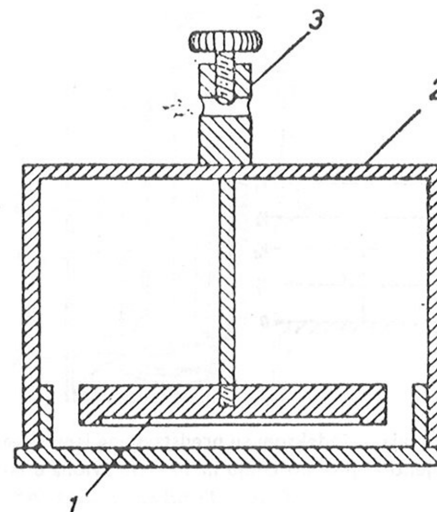
Slika 6 — IX

pa se meri potencijalna razlika između njih. Da bi se povećala provodljivost atmosfere u neposrednoj blizini kolektora, oni se premazuju nekom radioaktivnom materijom koja jonizuje vazduh (Sl. 7—IX). Druga mogućnost je postavljanje kolektora u obiliku šiljka sa koga dolazi do pražnjenja, pa kolektor brže prima potencijal okoline. Takođe se kao kolektor može iskoristiti i plamen jednog fitilja. U svakom slučaju je potrebno da provodljivost između kolektora i okoline bude bolja nego provodljivost između provodnika koji ga vezuje sa elektrometrom i okolne atmosfere. Kada ne bi bilo tako, elektrometar bi mogao da pokazuje potencijal neke tačke na tom provodniku.

Kolektor prima potencijal okoline na sledeći način:

Kolektor postavljen u neku tačku atmosfere sa potencijalom V, imaće u početku potencijal V_k. Može se očekivati da će taj potencijal težiti u toku vremena da se izjednači sa potencijalom V. Usled potencijalne razlike između kolektora i okoline teći će električna struja i.

$$i=\frac{V_k-V}{R} \qquad (9,2)$$



Slika 7 — IX

dalje pošto je:

$$i=\frac{d\,Q_k}{dt}; \quad Q_k=V_k\,c \qquad (9,3)$$

biće:

$$-c\frac{d\,V_k}{dt}=\frac{V_k-V}{R} \quad \frac{d\,V_k}{V_k-V}=-\frac{dt}{Rc} \qquad (9,4)$$

Posle integracije se dobija:

$$V_k-V=(V_{ko}-V)\cdot e^{-\frac{t}{Rc}} \qquad (9,5)$$

gde je V_k—potencijal kolektora u momentu t, a V_{k0}—potencijal kolektora u momentu $t=0$, C—kapacitet kolektora.

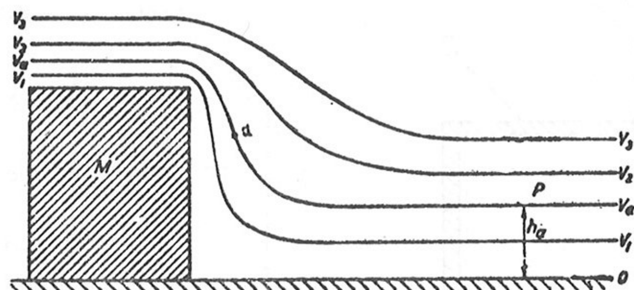
Iz poslednje jednačine se vidi da potencijal kolektora teži da se izjednači sa potencijalom okoline jer negativna eksponencijalna funkcija teži nuli kada t teži beskonačnosti. Vreme za koje će ta razlika spasti recimo do 1/e od početne vrednosti, zavisi od kapaciteta c i od otpora okoline R. Prva veličina je konstantna, dok druga zavisi od niza elemenata, kao napr. od vlažnosti vazduha, brzine vetra itd.

Ekvipotencijalne površine električnog polja prate neravnine tla, ali se sa visinom postepno uravnavaju (Sl. 8—IX).

MERENJE JAČINE ELEKTRIČNOG POLJA NA VISINI

Za merenje na visini se koriste avioni. Pritom se pojavljuje teškoća usled toga što je i avion naelektrisan, pa se stvarnom električnom polju dodaje polje prouzrokovano naelektrisanjem aviona. Zbog toga se vrše merenja jačine polja u dve tačke na avionu pa je tako moguće odrediti obe komponente polja:

$$E = a\,E^{(A)} + b\,E^{(B)}; \quad Q = c\,E^{(A)} + d\,E^{(B)} \qquad (9{,}6)$$



Slika 8 — IX

Ovde je sa *E* označena stvarna jačina električnog polja, sa indeksom su predstavljene izmerene jačine polja u tačkama *A* i *B*. *a*, *b*, *c*, *d*, su koeficijenti koji se određuju na modelu aviona u laboratoriji.

KVADRANT ELEKTROMETAR

Osim elektrometra napred opisane konstrukcije često se upotrebljavaju tzv. kvadrant elektrometri. Jedna pločica koja se sastoji od dva kružna isečka okreće se oko vertikalne osovine i pritom uvrće konac na kome visi. Otpor tog konca na uvrtanje daje kočeći spreg instrumenta. Aktivna sila koja uvrće konac prouzrokovana je privlačenjem između ove pločice i četiri para fiksiranih pločica. Do privlačenja dolazi usled toga što između fiksiranih i pokretne pločice postoje razlike u potencijalu. Te razlike nastaju tako što se na pokretnu pločicu priključi mereni napon, dok se na fiksne ploče priključuje pomoćni napon i to na sledeći način. Suprotni parovi kvadranata se vezuju između sebe, a susedni parovi se priključuju na suprotne polove jednog izvora jednosmerene struje. Taj izvor daje pomoćni napon koji služi za to da fiksne pločice nejednako privlače pokretnu. Skretanje pločice zavisiće od potencijala priključenog na pokretnu pločicu. Pokretna pločica se priključuje na taj potencijal preko obešene pločice potopljene u sumpornu kiselinu. Sumporna kiselina je jednim provodnikom vezana za kolektor. Tečnost se ovde koristi iz dva razloga. Jedan je mogućnost da se izbegnu čvrsti kontakti, koji bi otežavali torziju konca, a drugi je prigušivanje oscilacija pokretne pločice.

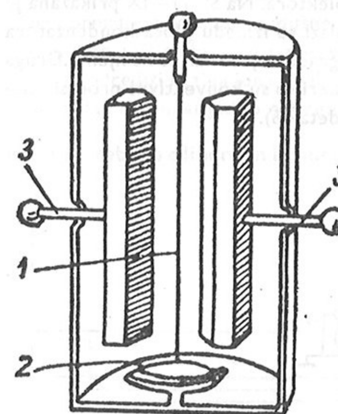
Osetljivost instrumenta može se menjati na taj način što se menja pomoćni napon na kvadrantima.

Ovaj instrument se često koristi i kao registrirni instrument elektrograf. U tu svrhu se u instrument postavlja traka sa satnim mehanizmom, koji u određenim intervalima vremena uključuje jedan kontakt. Tako uključeni elektromagnet pritiskuje kazaljku vezanu uz pokretnu pločicu i na traci se utiskuje jedna tačka. To je ustvari tipičan registrator kakav se koristi i za registrovanje drugih elemenata.

Instrument mora imati metalni oklop, koji se vezuje sa zemljom. Taj metalni oklop služi kao zaštita od električnog polja i sprečava direktno dejstvo polja na instrument.

ELEKTROMETAR SA JEDNOM NITI

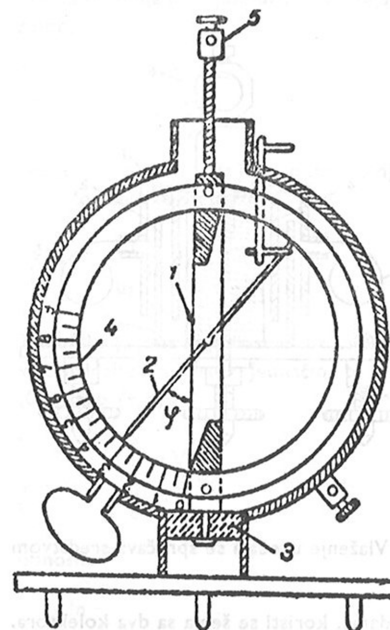
Podesan je zato što se opseg merenja može menjati u širokom intervalu (Sl. 9—IX). Nit se nalazi u sredini i uzemljena je da bi joj potencijal bio određen. Ukoliko je veća potencijalna razlika nit je bliže jednom ili drugom zidu. Pomoću zavrtnja se zidovi pomeraju i ukoliko su bliže veća je osetljivost instrumenta. Očitavanje se vrši mikroskopom.



Slika 9 — IX

BRAUNOV ELEKTROMETAR

Sastoji se od dve pločice, pokretne i nepokretne. Na jednu pločicu se dovodi napon sa K_1 a n drugu sa K_2. Što je razlika potencijala veća to se pokretna ploča više udaljuje od nepokretne (Sl. 10—IX).



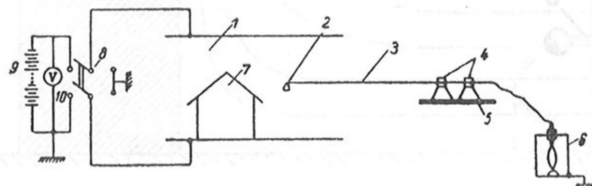
Slika 10 — IX

EKSNEROV ELEKTROMETAR

Sličan je elektroskopu. Na listiće se dovodi napon, dok su svi ostali delovi uzemljeni. U zavisnosti od potencijalne razlike listići će se više ili manje udaljavati. Instrument je osetljiv na potres.

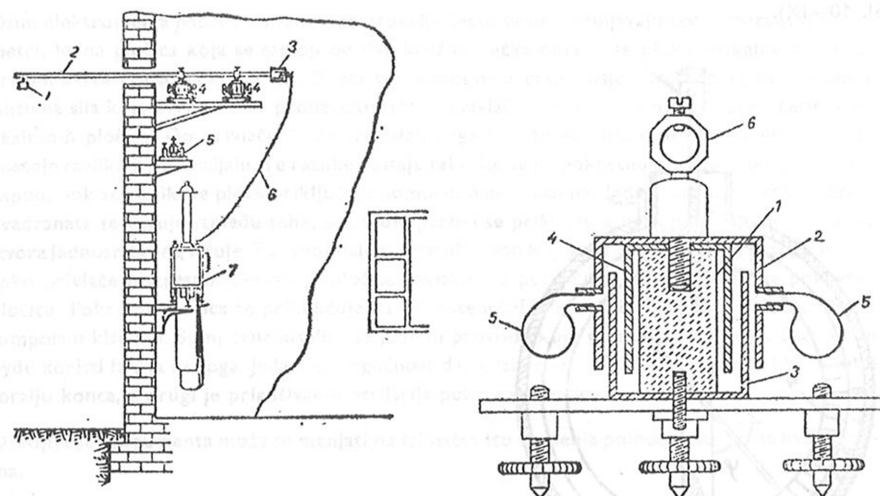
MERENJE JAČINE POLJA POMOĆU JEDNOG KOLEKTORA

Jačina električnog polja može se meriti i pomoću jednog kolektora. Na Sl. 11—IX prikazana je principijelna šema takvog načina merenja. Kolektor (2) nalazi se između ploča kondenzatora (1). Jedna ploča kondenzatora je površina tla i predmeti i zgrade koji se nalaze na njemu. Druga ploča kondenzatora je atmosfera, q je izvor struje. U atmosferi to su konvektivni procesi i nepogode. Merenje se vrši pomoću elektroskopa (sl. 11—IX, detalj 6).



Slika 11 — IX

Praktično se merenje vrši pomoću uređaja sa Sl. 12—IX. Kolektor (1) se nalazi na metalnoj šipci (2) koja prolazi kroz otvor u zidu. Izolator (4), koji drži šipku prikazan je detaljno na sl. 12—IX desno. S obzirom da je kolektor blizu zgrade postoji u tački polja u kojoj se on nalazi deformacija prikazana na Sl. 10—IX. Njen uticaj se uzima u obzir uvođenjem redukcionog faktora. Merenja se registruju pomoću elektrografa (7). Vlaženje uređaja se sprečava sredstvom za sušenje (5 na desnoj slici).



Slika 12 — IX

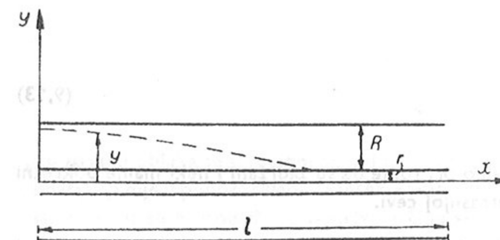
Za merenja u polju koje nije bitno poremećeno zgradama, koristi se šema sa dva kolektora. U tom slučaju se može vrednost polja dobiti i bez redukcionog faktora.

MERENJE KONCENTRACIJE I POKRETLJIVOSTI JONA U ATMOSFERI

Jonski spektar definiše se brojem jona koji imaju određene brzine, tj. određen je krivom u sistemu (v, n), gde su v—brzine jona, a n—broj jona. Merenje kojim se dobija jonski spektar, vrši se najčešće pomoću metode aspiracionog kondenzatora.

Metoda se sastoji u tome što se vazdušna struja kreće duž obloga kondenzatora, koje su pod naponom. Joni, koji se nalaze u vazdušnoj struji, skreću ka oblogama pod uticajem električnog polja normalnog na smer vazdušne struje. Merenjem naelektrisanja ili potencijala koje primaju obloge i znajući električno polje, brzinu i zapreminu vazduha koji prolazi kroz kondenzator, može se odrediti brzina jona i njihov broj u jedinici zapremine, tj. koncentracija. Pretpostavlja se da jedan jon nosi jedno elementarno naelektrisanje.

Ako upotrebimo cilindričan kondenzator (Sl. 13—IX) sa radijusima obloga R i r.



Slika 13 — IX

Brzina vazdušne struje je

$$v = \frac{dx}{dt} \quad (9,7)$$

Brzina kretanja jona pod uticajem polja E dobiće se uz pomoć jednačine za cilindrični kondenzator:

$$\frac{dy}{dt} = E u = -\frac{u V}{y \ln \frac{R}{r}} \quad (9,8)$$

gde je u—pokretljivost jona, odnosno njegova brzina u jediničnom polju, V—razlika potencijala na oblogama kondenzatora.

$$v y\, dy = -\frac{V u}{b_1 \frac{R}{r}} dx \quad (9,9)$$

Trajektorije jona koji ulaze u cev na rastojanju od ose $y=R$, tj. pored same spoljne cevi, dospevaju najdalje u smeru x. Jednačina te trajektorije se dobija ako jednačinu (9,9) integrišemo od $(0, R)$, do (x, y):

$$\int_R^y v y\, dy = -\int_0^x \frac{u V}{\ln \frac{R}{r}} dx \quad (9,10)$$

odnosno:

$$x = \frac{v \ln \frac{R}{r}}{2 u V} (R^2 - y^2) \quad (9,11)$$

Na unutrašnju elektrodu jon pada kada se y izjednači sa r, pa se tako može odrediti vrednost najmanje pokretljivosti jona. Najmanje pokretljivi joni su oni koji se najsporije kreću u polju E, tj. popreko na vazdušnu struju. Najmanje pokretljivi joni koji su još zadržani na samom izlazu iz kondenzatora imaju pokretljivost:

$$u' = \frac{v\,(R^2 - r^2)\ln\frac{R}{r}}{2\,V\,l} \qquad (9{,}12)$$

gde je l — dužina kondenzatora.

Svi joni u vazdušnoj struji čija je pokretljivost veća ili jednaka u' biće zadržani u kondenzatoru.

Manje pokretljivi joni će delimično prolaziti kroz kondenzator. Označićemo sa u koncentraciju jona sa pokretljivostima unutar nekog intervala $u_0 - u_1$ sa u' — broj jona koje kondenzator zadrži iz 1 cm³. Neka je funkcija raspodele data kao $f(u)$. Tada će broj jona n u delu spektra od $u = \infty$ do $u = u'$ biti:

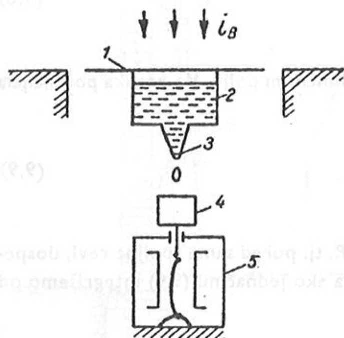
$$n = \int_{u'}^{\infty} f(u)\,du \qquad (9{,}13)$$

To je broj svih zadržanih jona. Zanemarujemo pri tome da su zadržani i neki manje pokretni joni, koji su u kondenzator ušli bliže unutrašnjoj cevi.

Ispitivanje jonskog spektra sastoji se u određivanju $n' = f(u')$ tj. u određivanju broja jona n' određene pokretljivosti u'.

MERENJE ELEKTRIČNIH STRUJA U ATMOSFERI

Za određivanje, vertikalne električne struje koja teče iz atmosfere u zemlju, koriste se metodi direktnog merenja. Oni se sastoje u merenju struja prema nekoj ravnoj horizontalnoj površini, a pri tome treba da bude ispunjen uslov da potencijal ove površine ne sme da se primetno menja pod uticajem dolazne struje i treba da bude približno jednak potencijalu zemljine površine.



Slika 14 — IX

Na Sl. 14 — IX prikazan je jednostavan uređaj za merenje vertikalne struje i_B. Pod mernom pločom 1 nalazi se rezervoar sa vodom, izolovan od zemlje. Kroz otvor 3 voda ravnomerno kaplje i postepeno odnosi naelektrisanje koje ploča prima od atmosfere. Kapi se skupljaju u izolovanom sudu koji je povezan sa elektrometrom.

Merenjem naelektrisanja koje kapi prenose, može se odrediti naelektrisanje, koje prima ploča.

X
OSMATRANJE OBLAKA

Osmatranju oblaka se u meteorologiji uvek ukazivala velika pažnja. Međutim, egzaktnost toga osmatranja nije u punom skladu sa interesovanjem koje mu se ukazuje. Tek danas kada postoje i sistematski snimci oblačnog pokrivača čine se važni koraci ka potpunijem uključivanju tih podataka u objektivne metode prognoze vremena i u preciznije izračunavanje njihovog uticaja na bilans zračenja, tj. na razmenu toplotne energije između zemlje i međuplanetarnog prostora.

Nesumnjiva je važnost tih osmatranja za vazdušni saobraćaj, pa i za druge oblasti ljudske aktivnosti.

U ovoj glavi ćemo razmotriti samo neke aspekte osmatranja oblaka. Nećemo ovde obrađivati vrste oblaka. Vrste oblaka se prikazuju u posebnim atlasima.

ODREĐIVANJE KOLIČINE OBLAKA

Pod količinom oblaka podrazumeva se stepen pokrivenosti neba oblacima, onako kako to vidi osmatrač sa zemlje. Osmatrač tu pokrivenost izražava u desetinama ili osminama.

Za određivanje ukupne oblačnosti uzima se pokrivenost neba, odnosno zaklonjenost neba osmatraču sa zemlje, svim vrstama oblaka. Za određivanje količine nižih oblaka uzimaju se u obzir samo određene vrste oblaka i to: stratusi, nimbostratusi, stratokumulusi, kumulusi i kumulonimbusi. Određivanje količine oblaka vrši se redovno sa istog mesta, tj. sa meteorološke stanice, jer u protivnom otkrivenost horizonta ne bi morala uvek da bude ista. Rezultati osmatranja sa raznih stanica nisu uvek uporedivi, usled toga što horizont može biti smanjen okolnim brdima. Osim toga znatne greške se pojavljuju već pri zenitnim rastojanjima većim od 45°, jer se oblaci obično projektuju prema horizontu i prividno pokrivaju veći deo neba.

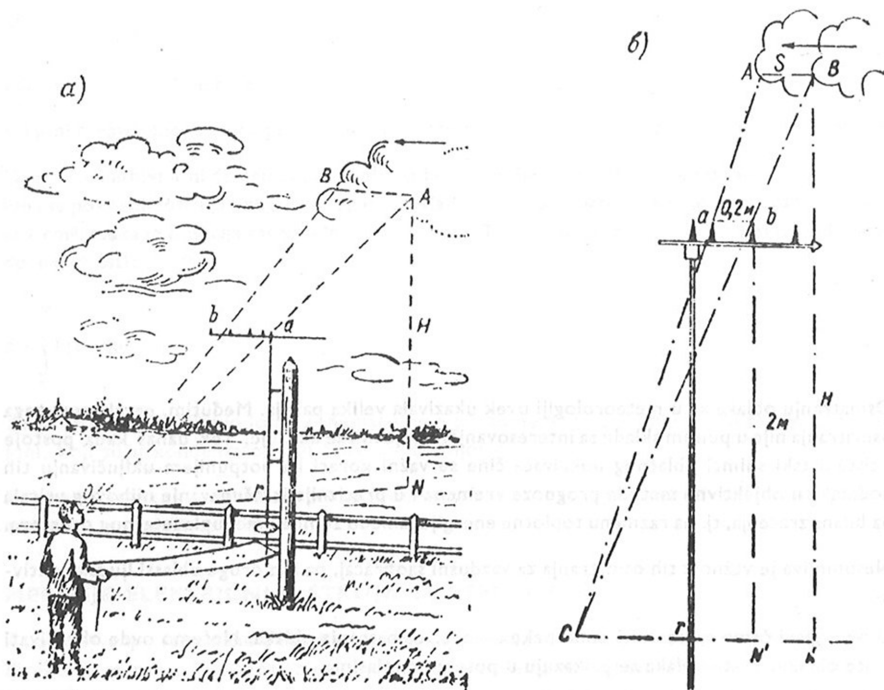
ODREĐIVANJE BRZINE KRETANJA OBLAKA

Pomoću Besonovih grablji određuje se samo relativna brzina oblaka. Sa slike (1—X) lako se dobija da je:

$$\frac{AB}{ab} = \frac{H}{2} \text{ tj. } \frac{Vt}{n \cdot 0{,}2} = \frac{H}{2}$$

$$\text{pa je: } V = \frac{nH}{10t} \qquad)1{,}10)$$

gde je V — brzina kretanja oblaka u m/sec; H — visina oblaka u metrima; n — broj zubaca koje prođe oblak za vreme t. 0,2 je rastojanje između zubaca, a 2 je visina od oka osmatrača do grabulja. Pošto je visina oblaka redovno nepoznata osmatraču na običnoj meteorološkoj stanici, to se za visinu H uzima 1000 m. Time se ne izračunava stvarna brzina oblaka, već brzina kretanja projekcije na nivo od 1000 m.



Slika 1 — X

Jednačina (1,10) u tom slučaju postaje:

$$V_{1000}=\frac{n \cdot 100}{t} \qquad (2,10)$$

Ova brzina naziva se relativna brzina.

Osim Besonovih grablji za određivanje relativne brzine kretanja oblaka može se iskoristiti i ogledalo za oblake, tj. nefoskop (Sl. 2—X).

Princip određivanja brzine je u osnovi isti kao i kod grablji.

Na osnovu sličnosti trouglova analogno Sl. 1 *b* dobija se:

$$V=\frac{SH}{ht} \qquad (3,10)$$

gde je S — put oblaka u ogledalu; H — visina oblaka, h — visina oka osmatrača nad ogledalom; t — vreme za koje slika oblaka u ogledalu pređe put S.

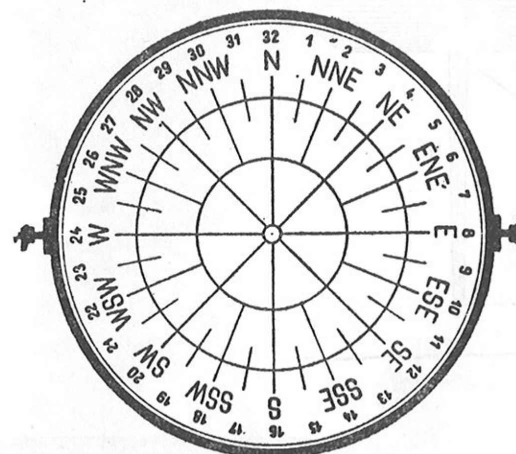
Relativna brzina se i ovde određuje slično kao i u prethodnom slučaju i iznosi:

$$V_{1000}=\frac{1000 \cdot S}{ht} \qquad (4,10)$$

ODREĐIVANJE VISINE OBLAKA

Pilot baloni. Donja granica oblaka može se odrediti pomoću pilot — balona napunjenih vodonikom i slobodno puštenih. Takav balon se prema Arhimedovom zakonu uzdiže pod dejstvom sile potiska, koja je jednaka razlici težine istisnutog vazduha i težine balona:

$$A=[v\,\rho-(m_1+m_2)]\,g \qquad (5,10)$$



Slika 2 — X

gde je A — slobodna sila potiska; V — zapremina balona; ρ — gustina vazduha; m_1 — masa vodonika u balonu; m_2 masa omotača balona.

Prilikom uzdizanja balon nailazi na otpor:

$$F=C\,\rho\,D^2\,w^2 \qquad (6,10)$$

gde je F aerodinamička sila otpora; D — prečnik balona; w — vertikalna brzina uzdizanja balona. Pri konstantnoj brzini uzdizanja biće $A=F$.

Iz jednačina (5) i (6) lako se dobija da je

$$w=\frac{\sqrt{A}}{D\,\sqrt{c\rho}} \qquad (7,10)$$

Za olakšanje izračunavanja brzine uzdizanja pilot balona postoje posebne tablice.

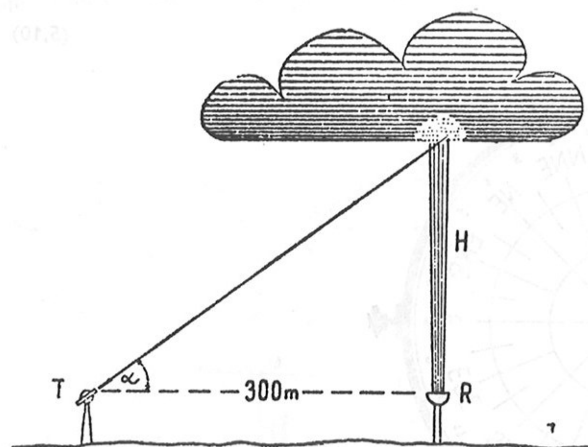
Osmatranje se vrši na taj način što se balon prati teodolitom ili dogledom i određuje vreme koje mu je potrebno da bi zašao u oblake. Ako znamo njegovu vertikalnu brzinu i vreme koje mu je bilo potrebno da se uzdigne do oblaka, lako ćemo izračunati visinu baze oblaka.

ODREĐIVANJE VISINE OBLAKA POMOĆU PROJEKTORA

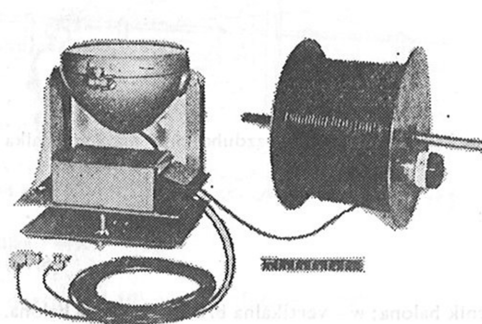
Noću se visina oblaka najbolje može odrediti pomoću reflektora. Ako se u tački R nalazi reflektor, a njegovi zraci neka čine sa horizontom ugao 90° (sl. 3—X). U tački T postavljen je teodolit kojim se posmatra svetla mrlja na oblaku C. Rastojanje RT označimo sa L, pa je visina H očevidno:

$$H=L\,\mathrm{tg}\,\alpha \qquad (8,10)$$

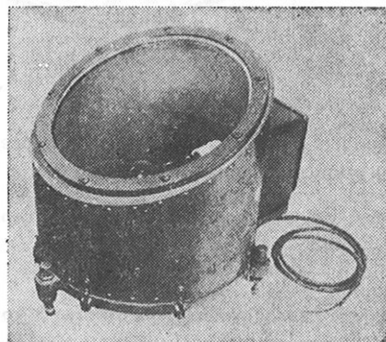
Različiti tipovi ovih uređaja prikazani su na slikama 4,5 i 6—X. Na sl. 6—X je prikazan teodolit kojim se fiksira svetla mrlja na oblaku koju daje reflektor. Na Sl. 4—X je prikazan jednostavan terenski reflektor, pomoću koga se ista osmatranja mogu vršiti i u ekspedicionim uslovima.



Slika 3 — X



Slika 4 — X



Slika 5 — X

SILOMETAR

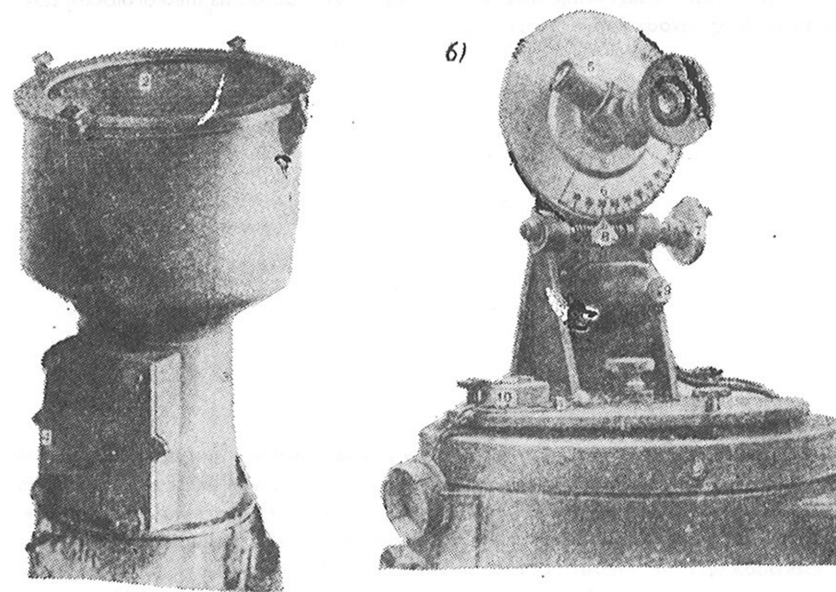
Uređaj koji se obično postavlja na aerodromima, gde je neophodno neprekidno osmatranje visine oblaka, zove se silometar. Princip rada je identičan onome kod običnih projektora. Razlika je u tome što se ne radi sa običnim svetlom, jer detektor (na Sl. 7—X desno) ne bi mogao da identifikuje običnu svetlu mrlju. Foto ćelija u prijemniku osciluje od horizontalnog do vertikalnog položaja i tako pretražuje deo neba na kome može da se nalazi svetla mrlja. U trenutku kada je foto ćelija okrenuta ka svetloj mrlji, javlja se električni impuls koji se prenosi na registrator. Na Sl. 7—X prikazani su reflektor, prijemnik, registrator i šema funkcionisanja silometra.

U novije vreme ulaze u upotrebu za ovu svrhu i laseri.

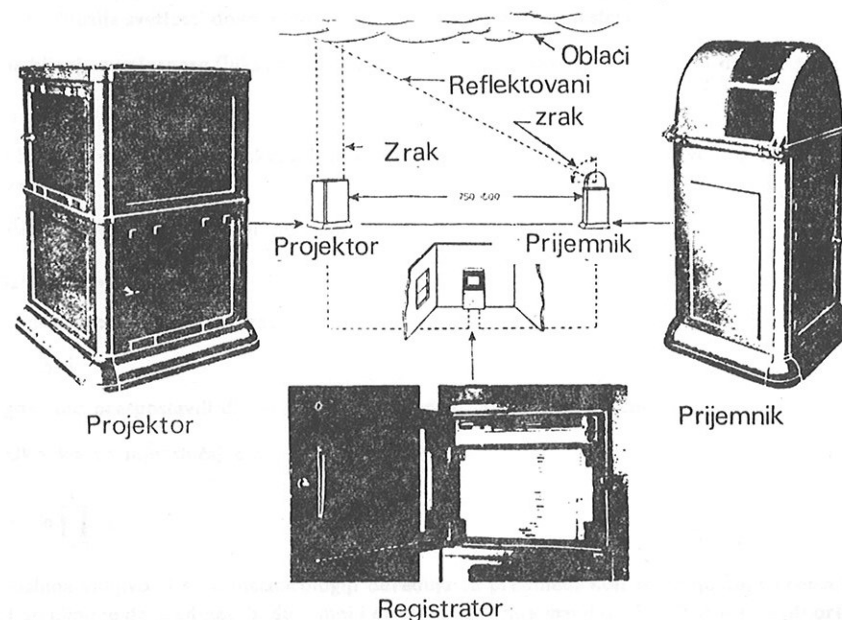
FOTOGRAFISANJE OBLAKA

Fotografisanje oblaka je važan način izučavanja fizičkih procesa u atmosferi. Oblaci se mogu fotografisati standardnim fotokamerama. Pri tome je veoma važna upotreba filtra, da bi se na

crnobeloj fotografiji dobio kontrast između neba i oblaka. Naročito je važno koristiti filter pri snimanju cirusa na svetlom nebu. U tom slučaju treba koristiti tamno crveni filter. Ukoliko prirodni kontrast nije tako slab, koristi se narandžasti ili žuti filter.



Slika 6 — X



Slika 7 — X

Za dobijanje trodimenzionalne, stereoskopske slike oblaka, koriste se dve kamere postavljene na rastojanju od nekoliko stotina metara. Uključivanje kamera mora biti sinhronizovano.

Za snimanje čitavog neba koristi se Hilova kamera. Snimanje se vrši vertikalno uvis, a kamera ima širokougaoni objektiv koji obuhvata čitav horizont. Veritikalni predmeti na horizontu na takvoj fotografiji koja ima oblik kruga usmereni su ka centru fotografije.

U našoj zemlji je vršeno višegodišnje sistematsko fotografisanje oblaka na meteorološkoj stanici Meteorološkog zavoda *PMF* u Beogradu.

XI ODREĐIVANJE VIDLJIVOSTI

Merenje vidljivosti ima poseban značaj za vazdušni saobraćaj. U novije vreme raste interes i u drumskom saobraćaju, međutim, egzaktne metode merenja primenjuju se još uvek pretežno u vazdušnom saobraćaju. Definicija daljine vidljivosti je donekle subjektivna. Data je kao daljina na kojoj se obrisi objekta slivaju sa pozadinom na koju se objekat projektuje. Očevidno je da daljina vidljivosti neće zavisiti isključivo od prozračnosti atmosfere, već i od kontrasta između zabranog objekta i pozadine, kao i od individualnih osobina vida osmatrača.

Atmosfera uvek delimično apsorbuje i rastura svetlosni snop koji prolazi kroz nju. Apsorbovanje i difuzija svetlosti dovode do smanjenja prozračnosti atmosfere.

Slabljenje svetlosnosg fluksa pri prolasku kroz sloj atmosfere debeo 1 km dato je sa:

$$I_1 = I_0\, \tau \qquad (11{,}1)$$

gde je I_0 intenzitet na ulasku, a I_1 intenzitet na izlazsku iz sloja. τ je očevidno, odnos te dve veličine.

Posle prolaska kroz drugi sloj biće:

$$I_2 = I_1\, \tau = I_0\, \tau^2$$

dnosno posle l kilometara:

$$I_l = I_0\, \tau^l \qquad (11{,}2)$$

gde smo pretpostavili da svi slojevi imaju isti koeficijent prozračnosti.

Ukoliko to nije slučaj biće:

$$I_l = I_0 \prod_{i=1}^{l} \tau_i \qquad (11{,}3)$$

Daljina vidljivosti se u meteorologiji određuje za predmete koji se projektuju prema nebu. Potrebno je da predmeti budu tamni i da vidni ugao nije manji od 0,5°. Toliki je, radi orijentacije, vidni ugao sunčevog ili mesečevog diska. Na meteorološkim stanicama se određuje samo horizontalna daljina vidljivosti. Na aerodromima se određuje daljina vidljivosti duž piste, to je tzv. „runway visual range“. To je potrebno avionu koji sleće. Međutim, ni to se ne može smatrati kao potpuno pouzdano, jer je pilotu ustvari potrebna kosa vidljivost pri sletanju. Ukoliko

je sloj magle tanak, pilot će ustvari imati bolju vidljivost od one koju mu daje osmatrač sa piste. Moguć je, a naravno i opasniji je, obrnut slučaj, tj. da je kosa vidljivost manja od horizontalne.

VIZUELNO ODREĐIVANJE DALJINE VIDLJIVOSTI

Za određivanje vidljivosti vizuelnim putem biraju se određeni objekti, koji se nalaze na različitim rastojanjima od tačke osmatranja. Ovi predmeti (stubovi, dalekovodi, fabrički dimnjaci, planinski vrhovi) treba da se nalaze na rastojanjima od 50, 200 i 500 m, a zatim na 1,2, 4, 10, 20 i 50 km. Odstupanja od ovih daljina ne bi trebalo da budu veća od 20%, međutim nije uvek moguće imati povoljan objekat na određenom rastojanju.

Samo određivanje daljine vidljivosti vrši se tako što osmatrač utvrđuje koji najdalji objekat još vidi, pa prema tome zaključuje da je vidljivost data granicama koje postavlja taj objekat i prvi sledeći, tj. prvi koji se više ne vidi. Objekat se smatra vidljivim ako je moguće, makar i sasvim slabo, nazreti njegove konture prema pozadini. Očevidno je da će to zavisiti i od osobina (boje i oblika) samog objekta i kontrasta pozadine. Takođe je povoljnije da se objekti nalaze severno od osmatrača, jer su uslovi osvetljenosti u tom slučaju povoljniji. Fotografskim žargonom rečeno, osmatranja vidljivosti ne treba da se vrše „kontraliht". Za noćna osmatranja koriste se udaljena svetla.

Daljina vidljivosti neke svetiljke data je obrascem:

$$E=\frac{I}{l}\tau^{l}\cdot K \qquad (11,4)$$

u kome je E — osvetljenost koju daje svetlosni izvor; I—jačina svetlosnog izvora, T—koeficijenat prozračnosti vazduha; l—rastojanje od izvora do osmatrača; K—faktor boje.

Zavisnost vidljivosti od boje svetla data je sledećom tabelom. Faktor uz pojedine boje daje koliko puta svetiljka mora biti jača, da bi bila vidljiva kao crvena svetiljka uzeta za etalon.

boje:	crvena	žuta	bela	zelena	plava
faktor:	1	5	20	50	250

Daljina vidljivosti određena je u prvom redu sa dva elementa, to su prozračnost atmosfere prag kontrastne osetljivosti čovečjeg oka.
Ova zavisnost data je sa

$$S=\frac{\ln \varepsilon}{\ln \tau} \qquad (11,5)$$

gde je S—vidljivost, τ—prozračnost, ε—kontrastna osetljivost ljudskog oka.

INSTRUMENTALNO ODREĐIVANJE DALJINE VIDLJIVOSTI

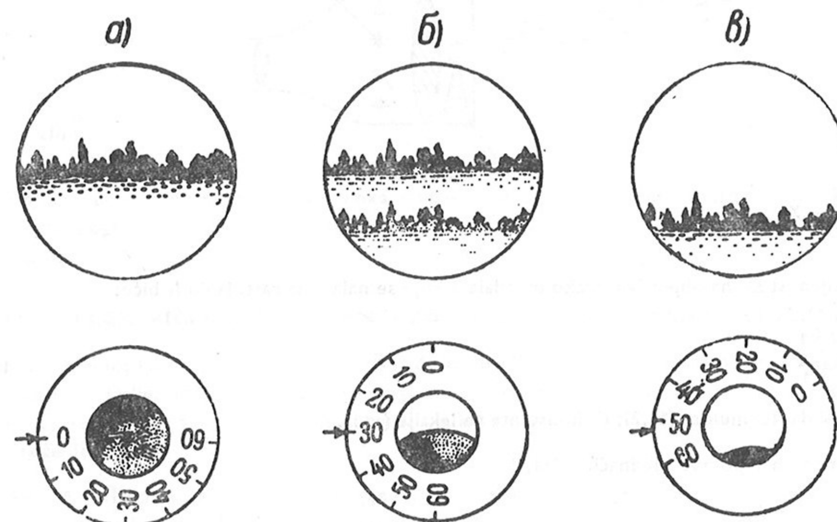
Instrumentalno merenje vidljivosti koristi se na mestima gde je neophodna veća egzaktnost, naročito pri smanjenoj vidljivosti. To su u prvom redu aerodromi. Instrumentalna merenja su takođe potrebna na mestima gde je nemoguće imati odgovarajuće objekte za vizuelnu ocenu. Inače su vizuelna osmatranja po danu dovoljno tačna za većinu potreba.

Na sl (1—XI) i (2—XI) prikazan je princip rada i spoljni izgled jednog jednostavnog instrumenta za određivanje daljine vidljivosti. Oznaka instrumenta je IV GGO.

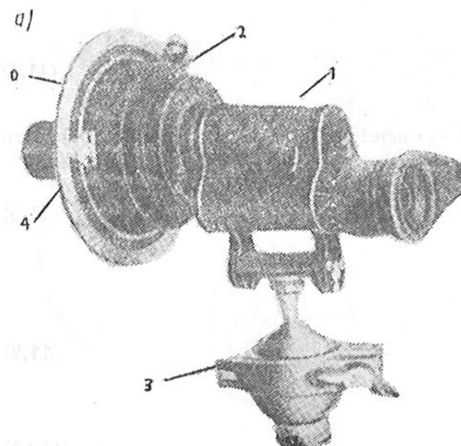
Instrument se sastoji od dogleda na čiji je objektiv montiran obruč sa blendom i prizmom koja može da klizi ispred objektiva.

Po obruču su gravirane oznake, koje daju rastojanje do objekta. Princip rada instrumenta je sledeći. Udaljeni objekti se posmatraju kroz dogled. U položaju a (1—XI) prizma potpuno

zaklanja objektiv i posmatrač vidi objekat samo kroz prizmu. Usled toga je slika objekta pomerena naniže. Spuštanjem prizme, sl. b (1—XI), otvara se direktan pogled ka objektu i sada se vide dve slike, donja kroz prizmu i gornja direktna. Daljim spuštanjem prizme količina svetlosti, koja prolazi kroz prizmu, se smanjuje i osvetljenost donje slike slabi, a gornje jača, jer se povećava otvor objektiva. Pošto postoji tako dvostruki proces u suprotnim pravcima, tj. osvetljenost jednog lika jača, a drugog slabi, može se vrlo oštro definisati trenutak kada donji lik nestaje. Tada se na obruču očitava daljina vidljivosti.



Slika 1 — XI

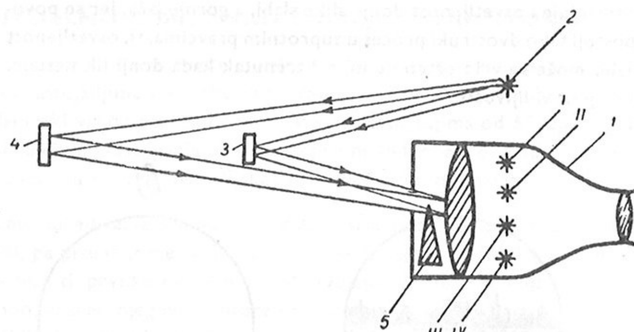


Slika 2 — XI

Daljina vidljivosti se opravdano povezuje sa trenutkom nestanka lika na svetlijoj podlozi, jer je i daljina vidljivosti uslovljena kontrastom između objekta i pozadine. Na onoj daljini gde toga kontrasta nema, prestaje vidljivost.

stim instrumentom može se određivati prozračnost atmosfere i u toku noći. Za to je potrebno raspolagati sa jednim svetlosnim izvorom poznate jačine i dva ogledala u kojima se taj izvor vidi

(sl. 3—XI). Na taj način se u istrumentu vide četiri lika jednog izvora. Dva direktna kroz objektiv i dva kroz prizmu.



Slika 3—XI

Osvetljenost E_1' na objektivu preko ogledala 3 koje se nalazi na rastojanju l_1 biće:

$$E'_1 = \frac{I\, C_1}{4\, l_1^2}$$

gde je I dat formulom (11,2); C_1 konstanta refleksije (<1).

Ili zamenom I pomoću jednačine (11,2):

$$E'_1 = I_0\, e_1 \frac{\tau^{2l_1}}{4\, l_1^2} \qquad (11,6)$$

Preko ogledala 4 dobija se:

$$E_2' = I_0\, C_2 \frac{\tau^{2l_1}}{4\, l_2^2} \qquad (11,7)$$

Ako otvor objektiva kroz koji dolazi direktan zrak obeležimo sa p a površinu prizme u objektivu sa s_2, imaćemo za likove II i III:

$$E_{II} = E_1\, s_2\, T \qquad (11,8)$$

gde je T koeficijent apsorpcije prizme (<1).

odnosno:

$$E'_{III} = E'_2\, s_1 \qquad (11,9)$$

U momentu izjednačenja osvetljenosti biće:

$$E'_{II} = E'_{III} \qquad (11,10)$$

Ova nam jednačina daje jednakost osvetljenja E'_{II} sa bližeg ogledala koje dolazi kroz prizmu i daljeg E'_{III} koje dolazi direktno.

Ako iskoristimo jednačine (11,6) do (11,9) i jednačinu (11,10) dobićemo:

$$\frac{1}{l_1^2} C_1\, \tau^{2l_1} s_2\, T = \frac{1}{l_2^2} C_2\, \tau^{2l_2} s_1 \qquad (11,11)$$

rešeno po koeficijentu prozračnosti:

$$\ln \tau = \frac{1}{2\,(l_1 - l_2)} \ln \frac{C_2\, l_1^2}{C_1\, l_2^2} \frac{s_1}{s_2\, T} \qquad (11,12)$$

Ako za konstante u ovoj jednačini stavimo a i b biće:

$$\ln \tau = a \ln b \frac{s_1}{s_2\, T} \qquad (11,13)$$

Koristeći jednačinu (11,5) dobijamo da je vidljivost data sa:

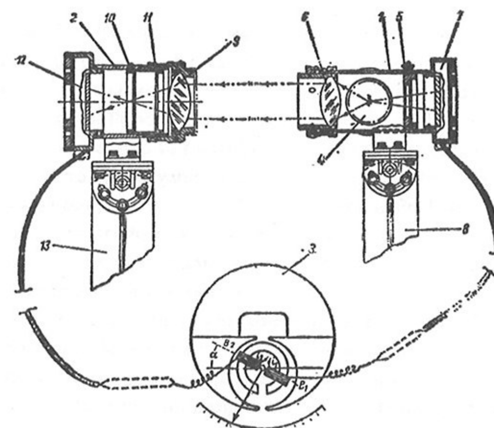
$$S = \frac{\ln \varepsilon}{a \ln \dfrac{b\, s_1}{s_2\, T}} \qquad (11,14)$$

gde je ε—prag kontrastne osetljivosti oka, a i b—konstante instrumenta zavisne od udaljenost i osobina ogledala, s_1—otvor objektiva, s_2—aktivna površina prizme i T—koefcijenat apsorpcije prizme.

FOTOELEKTRIČNI INSTRUMENTI ZA ODREĐIVANJE DALJINE VIDLJIVOSTI

Iz prethodnog izlaganja je već dovoljno jasno da je određivanje vidljivosti podložno subjektivnim greškama. Dalje, pošto je neophodna mogućnost kontinuiranog osmatranja, kao i registrovanja, naročito na aerodromima, konstruisan je veliki broj vizibilimetara u kojima se koriste otoćelije.

Na sl. 4—XI vidi se princip rada takvog jednog instrumenta. On se sastoji od reflektora (desno) i prijemnog elementa (levo), koji se postavljaju na rastojanju od više desetina metara. Svetlost



Slika 4—XI

iz lampe reflektora pada na fotoćeliju u zadnjem delu reflektora (7) i na fotoćeliju u prijemnom delu (12). Merenje se sastoji u upoređivanju jačina struje izazvanih u ove dve fotoćelije, koje su vezane na galvanometar (3).

Kada je prozračnost potpuna biće $\tau = 1$. Dijafragmom 5 može se postići da osvetljenost fotoćelija bude jednaka, tj: $I_1 = I_0$.

Kada je vidljivost smanjena, osvetljenost kontrolnog elementa ostaje J_0, dok u prijemnom elementu imamo osvetljenost:

$$I_1 = I_0 \tau^l \qquad (11,15)$$

pošto je fotoelektrična struja srazmerna osvetljenosti, važiće i za struje iz fotoćelija isti odnos:

$$i_1 = i_0 \tau^l$$

Šema električne veze je takva pa struje iz fotoćelija teže da okrenu kaleme galvanometara u suprotnim smerovima. Pri uspostavljenoj ravnoteži važi: ,

$$i_0 B_1(\alpha) = i_1 B_2(\alpha) \qquad (11,16)$$

gde je $B_2(\alpha)$ magnetna indukcija odgovarajućeg kalema, α — ugao skretanja kalema.

Zamenom (11,15) u (11,16) dobijamo:

$$\tau^l = \frac{B_1(\alpha)}{B_2(\alpha)} \qquad (11,17)$$

Količnik iz prethodne jednačine može biti predstavljen kao funkcija ugla skretanja, pa je vidljivost (prema (11,5) data sa:

$$S = \frac{\ln \varepsilon}{\ln \tau} = \frac{l \ln \varepsilon}{\ln C(\alpha)} \qquad (11,18)$$

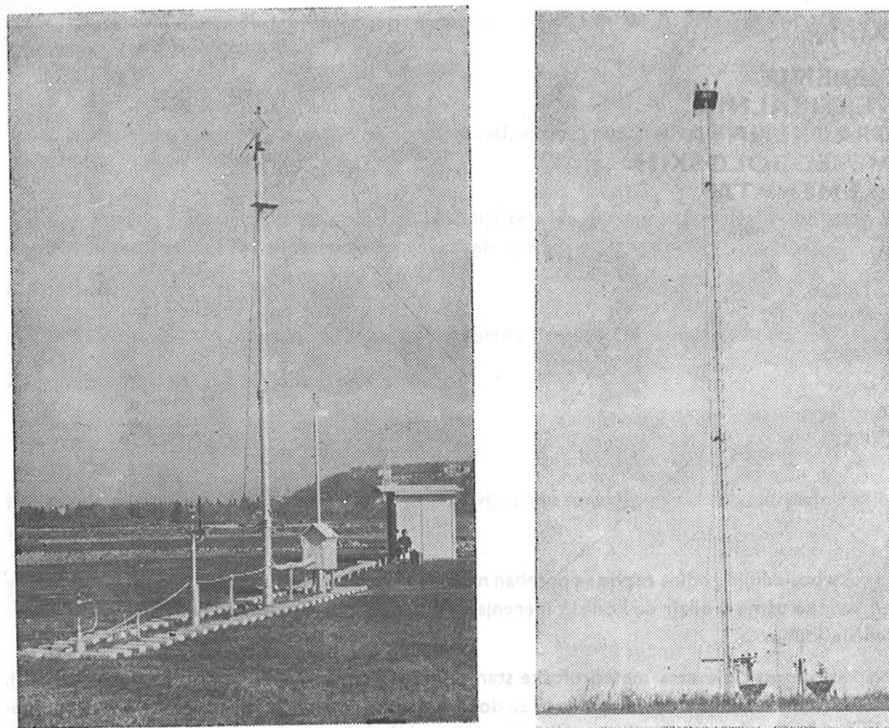
XII MERENJE VERTIKALNIH GRADIJENATA METEOROLOŠKIH ELEMENATA

U toku poslednjih godina razvio se poseban način meteoroloških merenja. To je sasvim razumljivo kada se uzme u obzir da kod tih merenja poseban interes predstavljaju atmosferska turbulencija i difuzija.

Najkarakterističnija crta meteorološke stanice pri reaktoru je meteorološki stub (sl. 1—XII). Meteorološki stub je neophodan da bi se dobili podaci potrebni za izračunavanje difuzije. Njegova visina zavisi od načina kojim u datom slučaju dolazi do zagađivanja atmosfere. Ukoliko do zagađivanja dolazi preko dimnjaka stub mora biti znatno viši, nego ako je izvor zagađivanja atmosfere pri tlu. To je samo po sebi jasno, jer instrumenti sa stuba daju podatke za izračunavanje difuzije uglavnom u sloju vazduha koji nije deblji od visine stuba.

Stub se obično nalazi na rastojanju od 200 do 500 metara od reaktora, a visina mu je oko 50 metara. Stub mora biti tako konstruisan da omogućava lak i bezopasan pristup osoblja do instrumenta. To se lako može rešiti tako da u unutrašnjosti konstrukcije postoje lestvice sa odmorištima na svakih pet metara. Još bolje ako se može konstruisati dizalica za osmatrače. To je naročito korisno, ako se na stubu vrše i psihrometriska merenja, jer je u tom slučaju potrebno svakodnevno opsluživanje vlažnog termometra. Veoma je nezgodno da se osoblje svakog dana lestvicama penje na visinu od 50 i više metara. Pri lošem vremenu to može da bude opasno i pored svih mera predostrožnosti. Postoji i druga mogućnost, a to je da psihrometri kojih ima tri do četiri, budu na posebnim malim dizalicama i da se spuštaju dole kada je to potrebno. Međutim, to donosi nove teškoće jer se merenja temperature vrše pomoću električnih otpora, pa do termometara vode dobro izolovani debeli kablovi. To znači, da bi postolja na kojima stoje psihrometri bila pokretna, nije moguće pričvrstiti kablove uz stub. Pri jakom vetru takvi slobodno viseći kablovi predstavljaju opasnost za instrumente, napr. anemometre na drugim visinama. Jasno je da i oni sami mogu biti oštećeni. Iz navedenoga sledi, da je najpovoljnije rešenje, da na stubu postoji dizalica za osmatrače.

Prilikom postavljanja stuba mora se voditi računa da ne bude razlike u ambijentu između reaktora i tornja i da ne bude drugih nepovoljnih uticaja na strujanje. Na primer, ako se reaktor nalazi na sredini nekog proplanka, nije dobro da stub bude na ivici šume, ili čak u šumi. Takođe ne sme biti većih razlika u nadmorskoj visini između podnožja tornja i reaktora, tj. dobro je da je stub podignut na ravnom terenu u blizini reaktora. Međutim, ne bi se smelo postaviti toranj na daljinu manju od 200 metara, jer će u tom slučaju zgrade reaktora bitno deformisati polje strujanja. Dalje je poželjno da u neposrednoj blizini nema drveća, a ograde ne treba da budu bliže od 50 metara i najbolje je da su žičane.



Slika 1 — XII

Meteorološki elementi koji se obično mere na stubu:

1) vetar (pravac, srednja i trenutna brzina) na različitim visinama;

2) temperatura suvog i vlažnog termometra na različitim visinama;

3) vertikalni termički gradijent.

Izbor je na te elemente pao, jer su oni neophodni za izračunavanje difuzije. Osim toga korisno je u podnožju stuba imati meteorološki zaklon u kome se vrše uobičajena merenja.

Osnovni instrumenti na stubu su anemometri i termometri. Najčešće se postavljaju tako da se merenja, osim na vrhu stuba, vrše još na polovini, četvrtini i osmini visine stuba. Kod stubova viših od 100 metara obično se merenja vrše i na tri četvrtine visine stuba. Termometarska ili psihrometarska merenja vrše se na svim navedenim visinama, dok je sa merenjima vetra situacija nešto složenija. Među meteorolozima je prilično raširena skepsa prema merenjima pravca vetra pomoću vetrulja pričvršćenih uz stub. Zato se često merenje pravca vetra vrši samo na vrhu stuba i osim toga na malom stubu koji se nalazi u blizini stuba. Merenje srednje i trenutne brzine vetra vrši se na svim visinama na kojima se mere temperatura i vlažnost.

Anemometri moraju biti postavljeni na kracima dužine tri do pet metara, tako da uticaj stuba na brzinu vetra bude što manji. Već je rečeno, da pokazivanja pravca vetra čak ni pod tim uslovima nisu sasvim zadovoljavajuća.

Termometri su u tom pogledu manje osetljivi, ali ni oni ne smeju biti u konstrukciji tornja već takođe na posebnim nosačima, eventualno na dizalicama koje se spuštaju sa spoljne strane konstrukcije.

Za merenje temperature koriste se platinski termometri kojima se električni otpor menja u zavisnosti od temperature. Vlažnost se određuje merenjem temperature vlažnog termometra. I tu se radi sa platinskim termometrom. Pošto je tu potrebna izvesna količina vode za isparavanje sa vlažnog termometra, neophodna je svakodnevna kontrola.

Da bi se obezbedilo da termometri uvek budu podjednako dobro ventilirani, tj. da njihovo pokazivanje što manje zavisi od brzine vetra, oni su zatvoreni u cevi koje se ventilišu posebnim ventilatorima. Radi zaštite od zračenja te se cevi rade od polirane aluminijumske legure. Pogon ventilatora mora biti električan, a da li će raditi neprekidno ili povremeno, zavisi od načina registrovanja. Ako se registrovanje vrši svakih nekoliko minuta, potrebna je neprekidna ventilacija. U tom slučaju je dobro imati jedan centralni jak ventilator, koji je cevima povezan sa psihrometrima. To međutim, dalje otežava postavljanje psihrometara na dizalice.

Na stubu je korisno postaviti platforme na svakih pet ili deset metara, za instrumente koji se mogu eventualno docnije uvesti u rad. Na primer za merenje zračenja, i za merenje termičke i dinamičke mikrostrukture vazdušnog sloja. Time se ostavljaju mogućnosti za razna povremena merenja za kojima može da se javi potreba.

Najpovoljnije je sva merenja vršiti pomoću jednosmerne struje, jer se pokazalo da pri radu sa naizmeničnom strujom može da dođe do smetnji. To se naročito pokazalo na tornjevima koji su istovremeno korišćeni i za meteorološka merenja i kao radioantene. Van svake sumnje, te teškoće nisu nesavladive, ali ih je lakše izbeći nego savlađivati.

Stub mora biti dobro uzemljen, kako bi se izbegla opasnost po osoblje prilikom električnih pražnjenja.

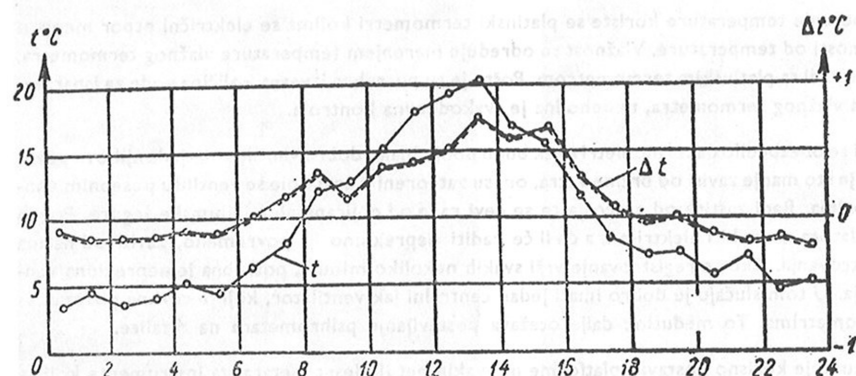
U meteorološkom krugu je osim toga korisno da se vrše i merenja temperature tla na raznim dubinama, radi izračunavanja transporta toplote.

Osim merenja na stubu, neophodno je vršiti merenja vetra na malim visinama od pet, dva i pola metra. To nije moguće izvoditi na stubu, jer su na tako malim visinama poremećaji prouzrokovani konstrukcijom istog reda veličine kao i stvarne brzine vetra. Prema tome, pokazivanja anemometra na tako malim visinama ne bi bila realna, ako bi se vršila na nosačima na tornju. Zato je neophodno u blizini tornja imati mali stub na kome se vrše merenja vetra na napred navedenim visinama.

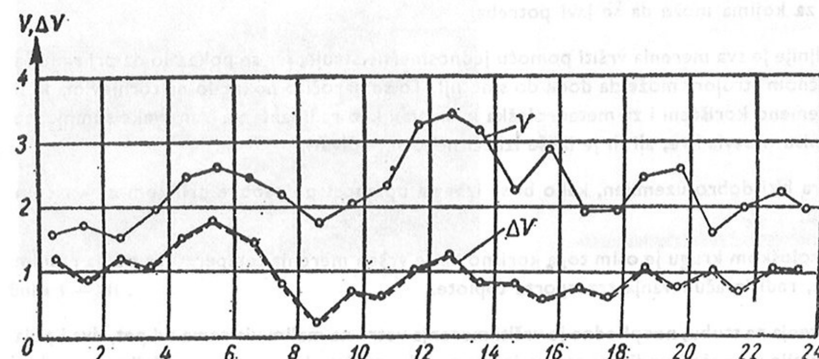
Na svim anemometrima je potrebno da postoje uređaji za grejanje, da bi nesmetano funkcionisali i pri najnižim temperaturama. Takođe je neophodno da budu zaštićeni od atmosferskih pražnjenja.

Meteorološka merenja u blizini reaktora moraju se izvoditi neprekidno, da bi se dobio uvid u meteorološke i klimatološke karakteristike okoline reaktora. Danas se ta neprekidnost postiže korišćenjem registrirnih isntrumenata. Koriste se najraznovrsniji registrirni instrumenti, počevši od klasičnih termografa i anemografa preko pisača, koji pomoću jedne pisaće mašine otkucavaju brojne vrednosti meteoroloških elemenata, do registratora koji podatke buše u kartice i time omogujuću direktnu obradu pomoću elektronskih računskih mašina. Ovom poslednjem načinu pripada van svake sumnje budućnost, i to ne samo zato što oslobađa čoveka jednog posla koji se može obavljati automatski, već još više zato što se pokazalo da registracije, koje se dobijaju konvencionalnim registratorima, prosto odlaze u arhivu i ne bivaju godinama obrađene. Zato je korišćenje registratora koji podatke buše u kartice ili ih nanose na magnetne trake veoma poželjno.

Merenje vertikalnih gradijanata meteoroloških veličina može se svesti na posebna merenja tih veličina na različitim visinama. Zbog toga bi se moglo doći do pogrešnog zaključka da nema nekih posebnih osobina gradijantnih merenja, koje već nisu obuhvaćene standardnim merenjima. Na sl. 2—XII prikazani su dnevni hodovi temperatura na visini od 2 m. iznad tla. i razlike temperatura na visinama od 2 m i 0,2 m. Na sl. 3—XII vidi se dnevni hod za vetar za iste visine.

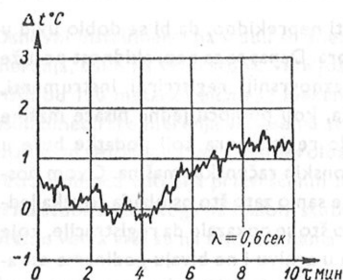


Slika 2 — XII



Slika 3 — XII

Ovde se radi o srednjim časovnim vrednostima. Interesantno je uporediti i podatke sa registrira (sl. 4—XII) gde se vidi tipičan grafik mikrokolebanja razlika temperature na visinama od 0,2 i 2 m. pri nestabilnom stanju atmosfere. Ovde je korišćen instrument sa veoma malim koeficijentom inercije od 0,6 sek.



Slika 4 — XII

Prva karakteristična osobina gradijentnih merenja je u tome što je amplituda dnevnog hoda meteoroloških elemenata veća nego amplituda razlika tih veličina u prizemnom sloju. To se dobro vidi na sl. 2—XII i 3—XII. Usled toga je potreba za tačnošću veća kod gradijentnih merenja.

Ako je amplituda razlike manja za red veličine od samih veličina, jasno je da osetljivost instrumenata kojima se meri ta razlika mora biti povećana.

Najveći problem u ovom pogledu predstavlja merenje vlažnosti.

Druga osobina vertikalnih gradijenata je u tome što su njihova mikrokolebanja istog reda veličine, kao i mikrokolebanja veličina elemenata.

Ova druga osobina još dalje otežava merenje. Da rezimiramo: prvo-dnevne amplitude gradijenata su za red veličine manje od samih elemenata; drugo-mikrokolebanja gradijenata su podjednaka sa mikrokolebanjima elemenata.

Ako se gradijent određuje kao razlika veličina izmerenih nezavisno na dve visine, biće ukupna instrumentalna greška jednaka dvostrukoj grešci merenja na jednoj visini. Zbog toga se teži da instrument meri neposredno sam gradijent. Mala amplituda promene gradijenta u tom slučaju postaje preimućstvo, jer je moguće smanjiti opseg merenja, a time povećati osetljivost instrumenta.

Greška instrumenta se najlakše određuje ako se veličine mere neposredno. Na pr. pri merenju gradijenta temperature pomoću posebnih termometara na dve visine, instrumentalna greška je jednaka dvostrukoj grešci jednog termometra.

Kod izvedenih veličina, kao što je na pr. napon pare, greška se dobija kao izvod funkcije po nezavisno promenljivoj koja se meri.

Tako se može izračunati da je greška kod merenja gradijenta napona pare 0,4 mb/m.

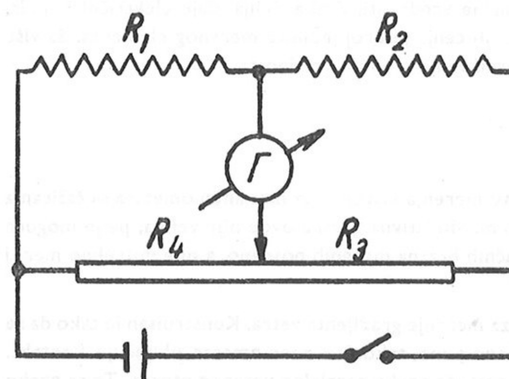
MERENJE VERTIKALNOG GRADIJENTA TEMPERATURE

Osnovni instrumenti koji služe za ovu vrstu merenja su diferencijalni termometri otpora. Na sl. 5—XII data je šema tog termometra. Termometri R_1 i R_2 se nalaze u tačkama čiju razliku temperature treba meriti. Otpori R_1 i R_2 treba da imaju jednake osobine tako da ako se nalaze u istoj sredini, imaju i jednake vrednosti.

Ako se temperatura u tački 2 promeni za Δt, to će se i otpor promeniti za ΔR.

Za ravnotežu mora da važi

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{R_3}{R_4} \qquad (1)$$



Slika 5 — XII

odnosno

$$\frac{R_1+\Delta R}{R_1}=\frac{R_3}{R_4} \tag{2}$$

Za male promene temperature može se uzeti da je relativna promena otpora $\Delta R/R$ srazmerna promeni temperature

$$\frac{\Delta R}{R_1}=\alpha \Delta t \tag{3}$$

i dalje na osnovu (2):

$$\Delta t=\frac{1}{\alpha}\left(\frac{R_3}{R_4}-1\right) \tag{4}$$

za termistore gde je

$$\alpha=-\frac{b}{T^2} \tag{5}$$

biće:

$$\Delta t=\frac{b}{T^2}\left(1-\frac{R_3}{R_4}\right) \tag{6}$$

I pored toga što termistori imaju veću osetljivost, za merenje gradijenta više se koriste metalni otpori, jer imaju veću tačnost i pouzdaniji su.

MERENJE VERTIKALNOG GRADIJENTA VLAŽNOSTI

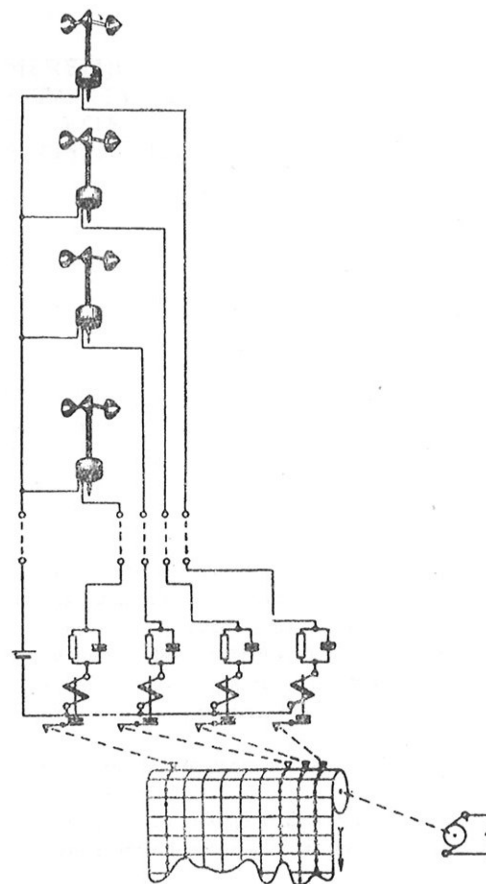
Merenja se vrše pomoću psihrometra, koji se sastoje od dva diferencijalna termometra, kakvi su prikazani napred. Jedan od njih, naravno, mora biti vlažan.

Na ovaj instrument može biti vezan registrirni uređaj sa integratorom. To uostalom važi i za termogradijentograf. Integrator je konstruisan tako da zrak sa ogledala galvanometra klizi preko niza fotoćelija od nule do maksimalne vrednosti. Svaka ćelija daje električni impuls, kada zrak pređe preko nje. Broj osvetljenih ćelija je broj jedinica merenog elementa. Sa više merenja dobija se suma koja služi za određivanje srednje vrednosti.

MERENJE GRADIJENTA VETRA

Najčešće korišćen instrument za ovu vrstu merenja sastoji se iz niza anemometara sa čašicama koji mere brzine vetra na različitim nivoima. Relativna greška ovde nije velika, pa je moguće određivati gradijente i iz razlika pojedinačnih brzina merenih posebno, a nije potrebno meriti razliku direkino.

Na sl. 6—XII prikazan je šematski uređaj za merenje gradijenta vetra. Konstruisan je tako da se kondenzatori koji se vide na šemi postepeno pune, tako što anemometar uključuje kontakt. Pošto se kondenzator napuni, pražnjenje nastupa preko paralelno vezanog otpora. To se preko releja registruje na traci.



Slika 6 — XII

Postoji i uređaj sa fotoćeijama, pomoću koga se može dobiti suma, a time i srednja vrednost za neki period, kao što je opisano u paragrafu o merenju gradijenta vlažnosti.

XIII

MERENJE STRUKTURE METEOROLOŠKIH ELEMENATA

Polja meteoroloških elemenata određena merenjem u pojedinim tačkama ili trenucima vremena, predstavljaju redovno samo jedno srednje stanje za neki kraći ili duži interval. „Pravo" trenutno stanje ne bi bilo moguće predstaviti dovoljno tačno pomoću površina povučenih kroz vrednosti merenja u pojedinim tačkama. Polje koje se na takav način dobija je približno i u svojim detaljima mora da zavisi od inercije instrumenata. Znamo da se usled inercije instrumenata dobijaju rezultati merenja, koji ustvari daju neku srednju vrednost elementa.

Da bi se dobile brze promene meteoroloških elemenata, koriste se instrumenti sa koeficijentom inercije manjim od jednog desetog dela sekunde, pa čak i sa inercijom od 10^{-3} sek. To su znači, koeficijenti inercije za čitavih pet redova veličine manji od standardnih. Instrumentom sa koeficijentom inercije 10^{-3} sek mogu se zadovoljavajuće meriti fluktuacije sa periodom od 10^{-1} sek.

Merenja pomoću instrumenta sa malim koeficijentom inercije nazivaju se merenja strukture meteoroloških elemenata. Ovim merenjima mogu se dobiti različite strukturne karakteristike.

Ako uzmemo da je vrednost nekog meteorološkog elementa data sa *x*, a vreme sa *t*, imaćemo srednju vrednost za interval t_2-t_1:

$$\bar{x} = \frac{1}{t_2-t_1}\int_{t_1}^{t_2} x(t)\,dt \qquad (13,1)$$

Pulzacija je definisana sa:

$$x' = x - \bar{x} \qquad (13,2)$$

Jedna od osnovnih strukturnih karakteristika je srednja apsolutna pulzacija:

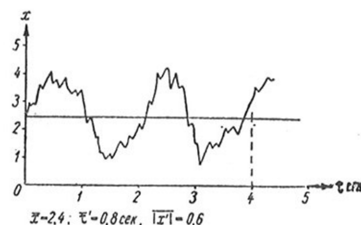
$$|\bar{x}'| = \frac{1}{t_2-t_1}\int_{t_1}^{t_2} |x-\bar{x}|\,dt \qquad (13,3)$$

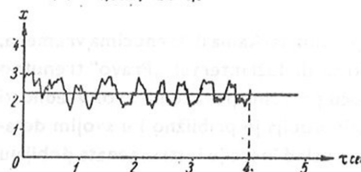
Takođe je važna strukturna veličina vreme pulzacije, tj. vreme za koje pulzacija ima stalno isti znak. Ono je dato sa:

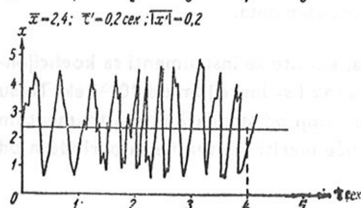
$$\overline{t'} = \frac{t_2 - t_1}{N} \qquad (13,4)$$

gde je N—broj koji pokazuje koliko puta pulzacija menja znak. t' se može uslovno shvatiti kao srednji poluperiod pulzacije periodične veličine. Ovo, naravno nije strogo tačno, jer su pulzacije redovno nepravilnog oblika i promenljive dužine trajanja.

Na sl. 1—XIII prikazane su tri registracije promene meteorološke veličine x u toku vremena t.







Slika 1—XIII

Na prvoj registraciji su i vrednosti pulzacije $|\overline{x'}|$ i srednji poluperiod $\overline{t'}$, relativno veliki. Na drugoj su i $|\overline{x'}|$ i $\overline{t'}$ mali, dok na trećoj imamo kratak poluperiod i velike pulzacije. U trećem slučaju imamo, dakle, brze i intenzivne pulzacije.

Određivanje strukturnih karakteristika je praktično neizvodljivo klasičnim putem. Ovde se prosto nameće rad pomoću elektronskih računara. Pri tome su moguća dva pristupa. Moguće je postojeće registracije preneti na medijum pogodan za elektronsku obradu, na pr. na bušene kartice, a moguće je direktno merenje uvoditi u jedan analogni elektronski računski sistem, pa odatle dobijati neposredno rezultate.

Analogne računske mašine se koriste često kao integratori, pa su veoma pogodne za određivanje veličina kao što su na pr. $|\overline{x'}|$. Pri tome se radi o relativno jednostavnom uređaju, koji na ulazu u kolo prima promenljivi napon analogan x (t), a na izlazu daje $|\overline{x'}|$ za interval $t_2 - t_1$. Na sl. 2—XIII prikazana je šema takvog integracionog uređaja.

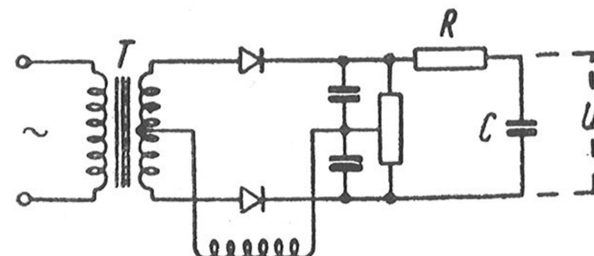
Ulazni signal koji je srazmeran na pr. temperaturi dolazi u kolo preko transformatora. Izlazni signal meri se kao napon na oblogama kondenzatora C koji se puni strujom i, a jednak je:

$$U_c = \frac{1}{C}\int i\,dt \qquad (13,5)$$

gde je i—struja u kolu RC.

Jačina struje je:

$$i = \frac{\varepsilon(t)}{R} \qquad (13,6)$$



Slika 2—XIII

gde je $\varepsilon(t)$—napon koji predstavlja električni analog promena temperature $T(t)$. Ako nema krupnijih deformacija biće:

$$(t) = KT(t) \qquad (13,7)$$

gde je K—konstanta.

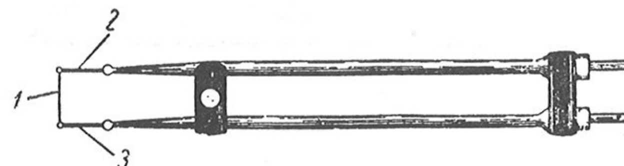
Uvođenjem uslova (13,6) i (13,7) u jednačinu (13,5) dobija se:

$$U_c = \frac{K}{RC}\int T(t)\,dt \qquad (13,8)$$

Tako se na izlazu kola dobija veličina Uc koja je očevidno srazmerna srednjoj vrednosti temperature.

INSTRUMENTI ZA MERENJE STRUKTURE

Za merenje strukture temperature vazduha najčešće se koriste termometri otpora sa tankim platinskim nitima (sl. 3—XII). Debljina platinske žice je oko 10 mikrona. Koeficijent inercije takvog termometra je oko 10^{-2} sek.

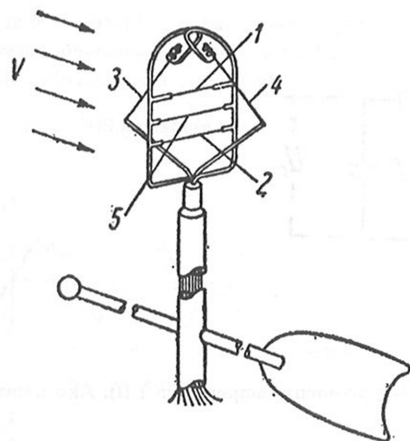


Slika 3—XIII

Platinska nit je pričvršćena za krajeve dva držača u obliku igle, koji istovremeno služe i za dovođenje struje.

Od instrumenata za merenje strukture traži se u prvom redu mala inercija prijemnog dela i čitavog uređaja, kao i visoka osetljivost. Videli smo čime se postiže mala inertnost prijemnog dela. Mala inertnost uređaja postiže se korišćenjem osciloskopa. Za postizanje visoke osetljivosti uređaja koriste se elektronska pojačala.

Za merenje strukture vazdušne struje koriste se anemometri sa zagrejanim tankim platinskim žicama. I ovde je debljina žice oko 10 mikrona. Električne šeme strukturnih toplotnih anemometara su iste kao i kod termometra. Međutim, pošto je brzina vetra vektorska veličina, potrebno je izmeriti tri veličine, na pr. intenzitet i dva ugla. Na sl. 4—XIII prikazan je anemometar



Slika 4 — XIII

takve vrste. Vetrulja ima strogo vertikalnu osovinu i ona orijentiše platinske niti tako da je ravan harfe normalna na smer vetra. Pri tome su niti 3 i 4 u ravni vetra. Sistem niti 1, 2, 3 i 4 omogućuje da se izmeri intenzitet vetra i njegov nagib prema horizontali. Nit br. 5 služi za merenje temperature.

Signal sa ovog uređaja ide u pojačalo, a zatim se pomoću osciloskopa može dobiti i registracija merenja. Registracija se vrši projektovanjem pokretne svetle mrlje sa ekrana osciloskopa na pokretnu traku fotopapira.

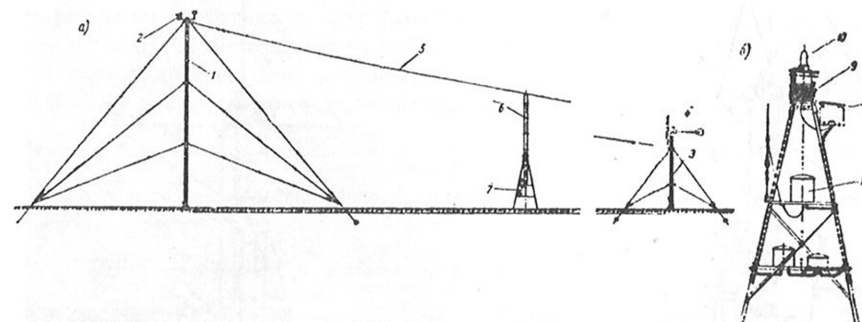
XIV

AUTOMATSKE METEOROLOŠKE STANICE

Matematičke metode prognoze vremena koje omogućuju korišćenje znatno većeg obima materijala, a koje su sa druge strane veoma osetljive na područja bez podataka, su jedan od najvažnijih elemenata koji u novije vreme veoma podstiču postavljanje sve većeg broja automatskih stanica.

Automatske stanice su pored toga i veoma pogodne za uklapanje u jedan kompletan automatizovan sistem dobijanja, razmene i obrade meteoroloških informacija. Zbog toga su one i ukomponovane u svetski sistem meteorološkog bdenja.

Automatske stanice mogu da rade i na rastojanju od više hiljada kilometara od centra kome šalju informacije. Veza između stanice i centra može biti žična, klasična radio veza, (sl. 1 i 2—XIV)

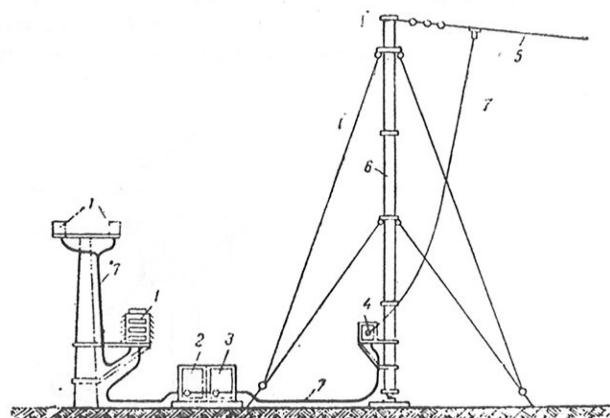


Slika 1 — XIV

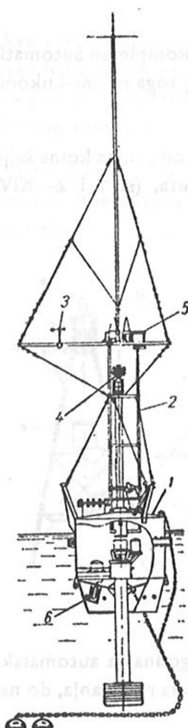
ili veza preko telekomunikacionog satelita. Ova poslednja je naročito pogodna za automatske stanice na okeanima (sl. 3 i 4—XIV). Žična veza koristi se uglavnom za mala rastojanja, do nekoliko kilometara.

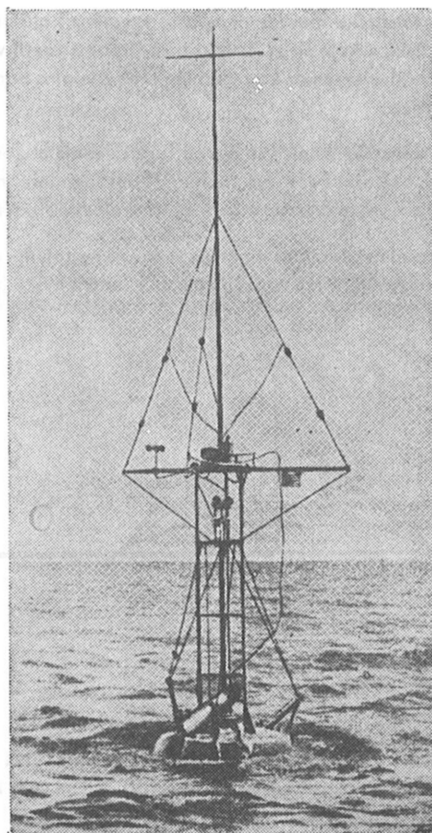
Principijelno se automatska stanica sastoji od prijemnog (mernog) elementa (detalj 1 na sl. 2—XIV), pretvarača i elektronskih pojačivača signala (detalji 2,3 i 4) i ako se prenos vrši radio talasima, antene (detalj 5 na sl. 2—XIV). Sa sl. 1, 3 i 4—XIV mogu se videti isti elementi u različitim izvedbama.

Automatske stanice koriste se u sledećim slučajevima:



Slika 2 — XIV



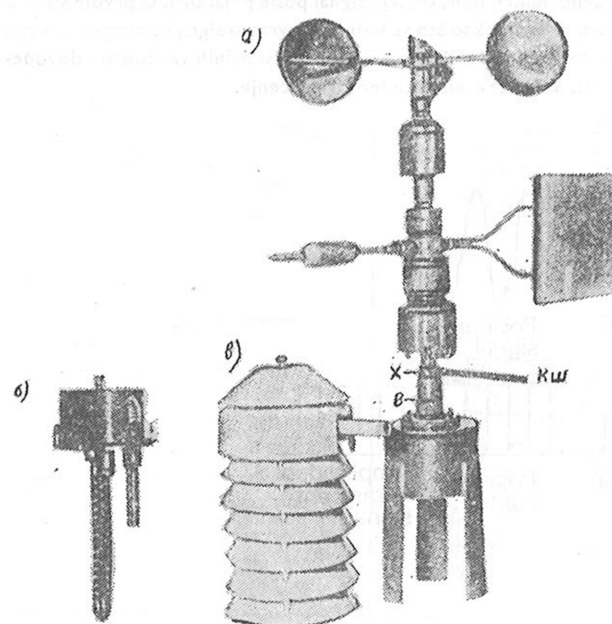


Slika 3 — XIV Slika 4 — XIV

1. Kod preciznih merenja meteoroloških elemenata, kada postoji mogućnost da prisustvo osmatrača naruši mikrostrukturu polja.

2. Pri merenjima u nenastanjenim ili nepristupačnim krajevima.

3. U modernim automatizovanim sistemima gde je čitava mreža automatskih stanica povezana sa centralnim elektronskim računarom.



Slika 5 — XIV

Moguća su tri principijelna pristupa daljinskim merenjima. Prvi način je takav da se merni element nalazi u sredini čije se osobine mere. Signali koji se formiraju u uređaju, šalju se sistemom veze do korisnika. Drugi način je da se prema sredini čije se osobine ispituju sa izvesne daljine šalju elektromagnetni ili svetlosni impulsi. Reflektovani impulsi dolaze u merni uređaj.

Treći način je da merena sredina šalje sopstvene signale, koji se primaju u mernom uređaju.

Samo je prvi od ova tri načina daljinskih merenja u primeni kod automatskih meteoroloških stanica.

Drugi način je karakterističan za radare i silometre.

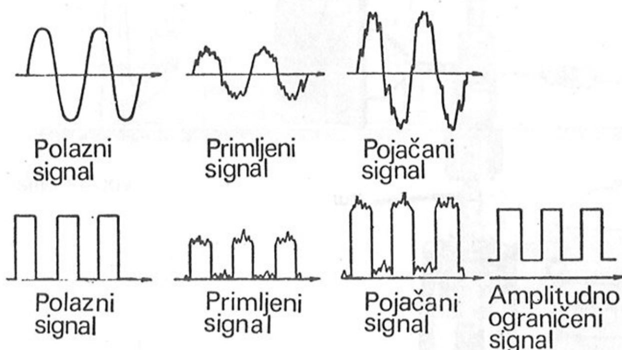
Treći način se primenjuje na satelitima, na pr. kod radijacionih termometara.

Izgled prijemnog elementa jedne jednostavnije automatske stanice na kojoj se meri smer i brzina vetra, temperatura vazduha i vlažnost, vidi se na sl. 5—XIV Na toj slici se vidi indukcioni anemometar sa čašicama (*a*) od koga polaze kablovi ka elektronskom delu; pod *b*) je prikazan zaklon koji štiti termometar i higrometar. Ovakva stanica je najčešće povezana provodnikom sa mernim uređajima koji obično nisu dalje od nekoliko stotina metara. Za merenje temperature vode služi termometar otpora (platinski ili termistorski), koji se nalazi u kraćoj cevi u delu *v*, a zaštićen je metalnim oklopom sa rupicama za provetravanje. Za merenje vlažnosti služi snop vlasi (nalazi se u dužoj cevi) koji je jednim krajem vezan za postolje, a drugim za polugu potenciometra. Na taj način se za pojedine vlažnosti dobija analogna električna vrednost.

SISTEMI ZA PRENOŠENJE SIGNALA

Predaja signala na veće daljine obično prouzrokuje osetne deformacije. Zbog toga se signali koje daje merni instrument, obično pretvaraju u signale koji se manje deformišu pri emitovanju.

Način deformisanja signala vidi se na sl. 6—XIV. Prvi signal je u oba slučaja polazni; drugi je posle predaje na rastojanje, naravno deformisan; treći je signal posle pojačanja. U prvom slučaju šumovi ostaju na signalu, dok je u drugom, kao što se vidi na četvrtom signalu, moguće postići potpuno čist prijemni signal. Čist signal se dobija odsecanjem maksimalnih vrednosti i dovođenjem na isti nivo malih vrednosti. To je tzv. amplitudno ograničenje.



Slika 6—XIV

U prvom slučaju u pitanju su analogni signali, u drugom digitalni. Drugi signal se može shvatit kao niz nula i jedinica, čime se dobija određeni broj u binarnom sistemu. Taj broj se može preneti, dakle, apsolutno tačno, bez obzira na deformacije koje su postojale u signalu. Analogni signal bio bi pri prenosu deformisan, kao što se vidi u prvom nizu na slici 6—XIV.

Za prenošenje signala koriste se kontinuirani i diskretni sistemi. Od kontinuiranih sistema u upotrebi kod automatskih stanica su:

a) Amplitudna modulacija. U ovom sistemu je vrednost merene veličine data amplitudom nosećeg talasa. Noseći talas mora imati znatno veću frekvenciju nego merena veličina koja daje osnovni signal. Ovaj signal je prikazan prvim parom na sl. 7—XIV.

b) Balansni sistem. Prilikom merenja na prijemnoj strani uspostavlja se novo ravnotežno stanje koje određuje položaj mernih instrumenata. Ravnoteža se uspostavlja posle vremena T. Koriste se za sinhronizaciju različitih signala. (sl. 7—XIV detalj 2).

c) Frekventna modulacija. Vrednost merene veličine data je frekvencijom harmonijskog — nosećeg talasa (sl. 7—XIV detalj 3).

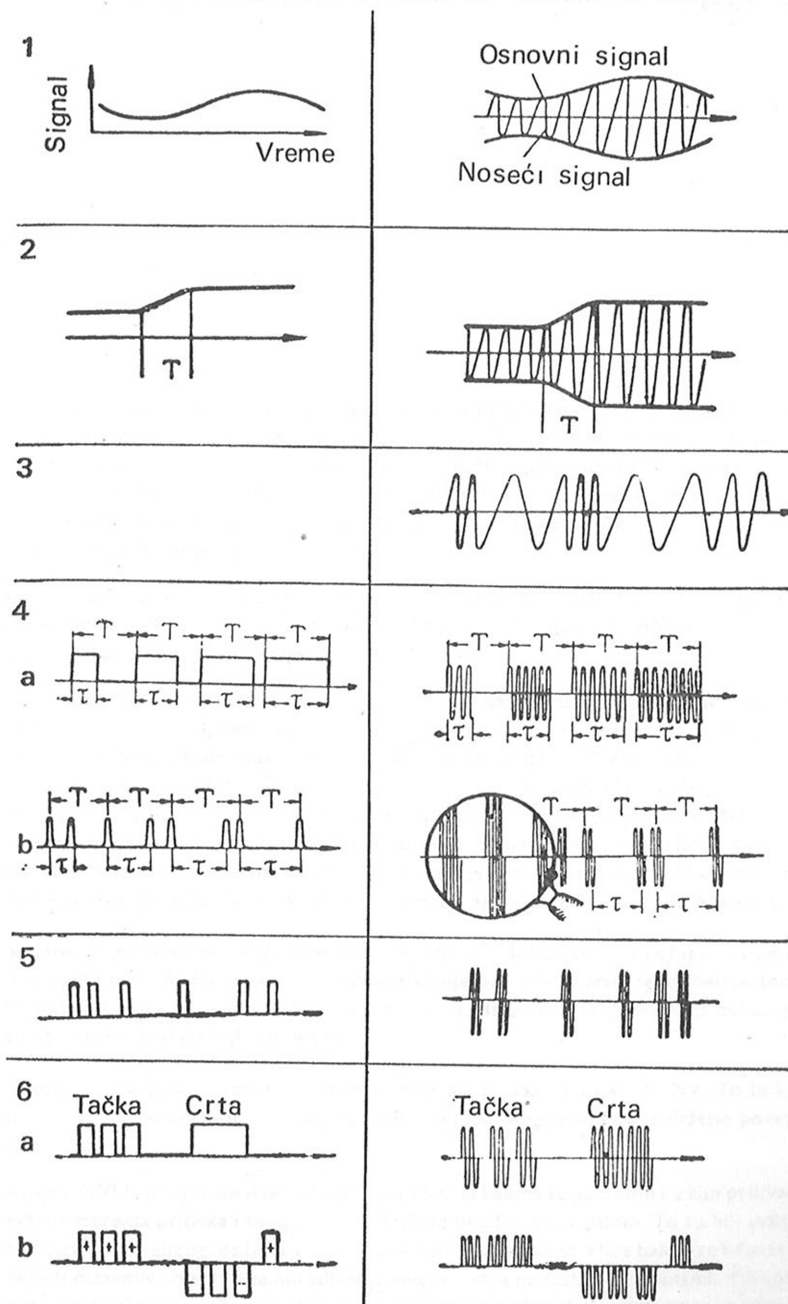
d) Dužina trajanja impulsa. Merena veličina je u ovom sistemu predstavljena dužinom trajanja impulsa (sl. 7—XIV—4 *a*), ili dužinom prekida između dva impulsa (sl. 7—4 *b*).

U četiri navedena sistema imamo zajedničko to da se signal menja kontinuirano sa promenom merene veličine. Čak i u četvrtom slučaju gde imamo prekidanje impulsa, pa bi se on možda mogao shvatiti kao diskretan sistem, imamo kontinuirano trajanje impulsa određeno merenom veličinom.

Sledeća dva sistema pripadaju diskretnim sistemima.

a) Frekventno impulsni sistemi. Ovde je merena veličina određena brojem impulsa u jedinici vremena (sl. 7—XIV—5).

b) Kodno impulsni sistemi. U ovom sistemu se impulsi grupišu u kodirane simbole, kojima se predstavljaju pojedini brojevi. Tim brojevima se određuje vrednost merenog elementa. Sim-



Slika 7—XIV

boli mogu biti predstavljeni kombinacijom impulsa različite dužine, kao u Morzeovoj azbuci (sl. 7—XIV—6 *a*), ili kombinacijom impulsa različitog znaka (sl. 7—XIV—6 *b*).

U kodni sistem spada i savremeni način rada u elektronskim digitalnim računarima, gde se jedan binarni broj dobija kombinovanjem postojanja i odsustvovanja impulsa, tj. jedinica i nula. Na pr. kombinacijom 1001 predstavljen je decimalni broj devet u binarnom sistemu. Takav način je veoma pogodan za emitovanje i verovatno njemu piripada budućnost.

XV

RADIO—SONDE

Za shvatanje procesa u atmosferi, a pogotovo za prognozu uz pomoć trodimenzionalnih matematičkih modela, neophodno je raspolagati podacima o vrednostima meteoroloških elemenata na različitim visinama. Danas već postoje uspešni eksperimenti, da se do tih podataka dođe daljinskim merenjima sa satelita, međutim, još uvek su za operativna merenja ovih veličina u upotrebi radiosonde, a u posebnim slučajevima koriste se rakete opremljene instrumentima za meteorološka merenja.

Prve sondaže atmosfere vršene su pomoću zmajeva sredinom 18-og veka. Poznat je Franklinov eksperiment, ali su slični eksperimenti u kojima je termometar pomoću zmaja podizan do znatne visine, vršeni već ranije.

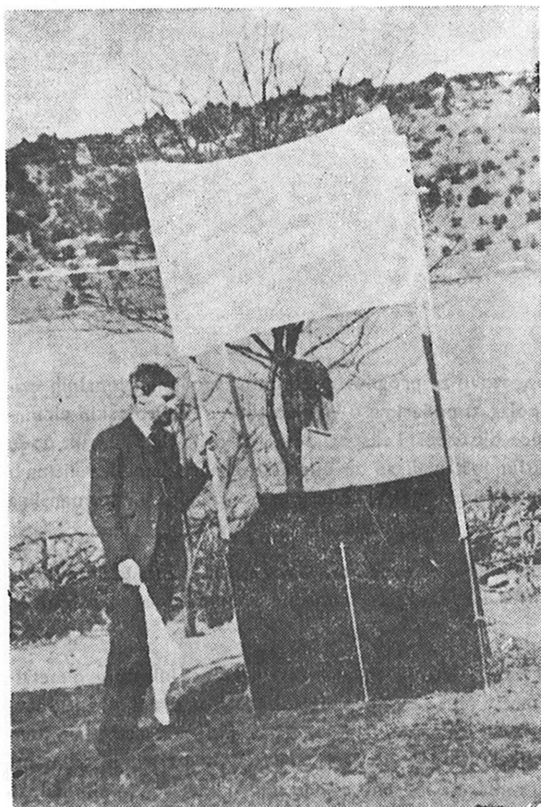
Pomoću zmajeva su dostizane visine od 7 km. Pošto je najveći teret pri tome bila upravo metalna žica na koju je zmaj vezivan, korišćeno je do 11 zmajeva vezanih jedan za drugi, da bi se savladao teret žice. Konstruisan je zmaj u obliku sanduku (sl. 1—XV) koji je veoma stabilan. Ram sanduka je bio od šupljih šipki, a na krajevima je bilo razapeto platno. Registrirni instrumenti (sl. 2 i 3—XV) postavljani su u sredinu rama. Za merenje temperature korišćen je bimetal, za merenje pritiska aneroid, a za vlažnost ljudska vlas. Dinjeov meteorograf (sl. 2. XV) je težio manje od 30 grama. Pritisak je meren aneroidom, koji je istovremeno služio i kao visinomer. Naime na kraju poluge *B* (sl. 2), na koju je pričvršćen aneroid nalazi se mala posrebrena polica *R*.

Sa povećanjem visine i opadanjem pritiska, Vidijeva doza, pomoću poluge *E*, odmiče u desno polugu *B* i tablu *R*. To omogućava polugama koje pomoću šiljastih iglica beleže temperaturu i vlažnost, da upisuju jednu neprekidnu krivu, tj. da se dobije grafik koji pokazuje zavisnost temperature i vlažnosti od visine.

Takođe je korišćena i konstrukcija meteorografa prikazana na sl. 3—XV. To je kružna tabla pokretna pomoću satnog mehanizma (dole sredina). Registrovanje je vršeno pomoću pera na polugama.

Krajem XVIII i početkom XIX veka počeli su letovi balona sa posadom i u tim prilikama su često vršena merenja pritiska i temperature. Tada se uvode i pilot baloni. To su bili mali baloni koji su puštani pre velikog, da bi se utvrdio smer vetra na visinama. Pilot baloni se i danas koriste kao najjednostavnije sredstvo za određivanje smera, vetra na različitim visinama. Pri tome se danas dobijaju i relativno tačne vrednosti jer se sada ne traži samo orijentacioni smer, već se vrši precizno merenje pomoću teodolita.

Sa razvitkom vazduhoplovstva visinska osmatranja počinju da se vrše uz pomoć meteorografa postavljenih na avionima. Prve aerološke sondaže pomoću aviona zabeležene su 1912-te, a potpun razvoj doživljavaju u toku prvog svetskog rata. Meteorografi se i dalje razvijaju na bazi dva osnovna principa koji se vide već na instrumentima sa zmajeva (sl. 2 i 3—XV). To je dobijanje zavisnosti merenih elemenata od pritiska (sl. 2—XV) i pokretanje trake pomoću satnog mehanizma (sl. 3—XV).

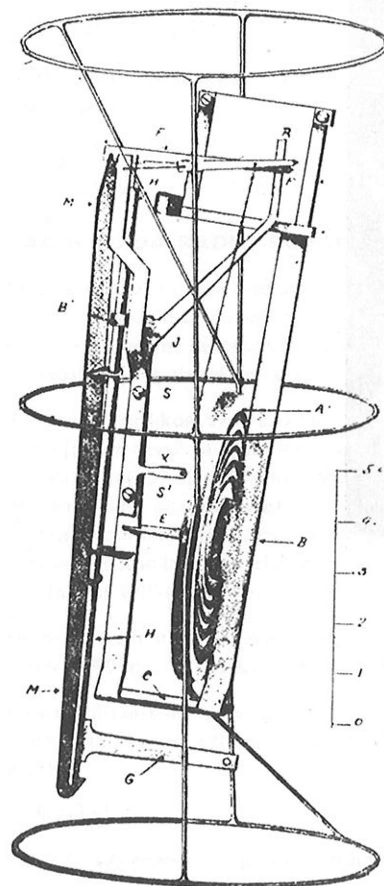


Slika 1 — XV

Osnovne crte moderne radio-sonde, koja se sastoji od elemenata za merenje pritiska, temperature i vlažnosti, uređaja za kodiranje, malog radio-predajnika i električne baterije, pojavljuju se već u prvoj uspešnoj radio-sondi Molčanova 1928. Ova radio sonda može da bude nošena balonom punjenim vodonikom do visina od preko 20 km. Savremeni izgled takve radio-sonde vidi se na sl. 4—XV. Na držačima u gornjem delu nalaze se elementi za merenje meteoroloških veličina. U unutrašnjosti kutije su uređaji za formiranje signala, radio-predajnik, baterija i antena. Na prvim radiosondama elementi za merenje bili su bimetal, za merenje temperature, ljudska vlas ili životinjska opna za merenje vlage i Burdonova cev ili Vidlijeva doza za merenje pritiska. Sa ovih elemenata se mehanička promena, tj. pomeranje kraja neke poluge, koristilo za dobijanje odgovarajućih električnih signala. One su ustvari bile elektro-mehanički uređaji. Na novijim konstrukcijama se teži potpunom isključenju mehanike, tako da sonda postaje potpuno elektronski uređaj, u kome nema mehaničkih kretanja.

Praćenje balona pomoću teodolita i utvrđivanje smera vetra na visini tim putem, ima jedan osnovni nedostatak. To je moguće koristiti samo dotle dok balon ne uđe u oblak. Čak i pri vedrom vremenu, ako su na visini jači vetrovi, balon se relativno brzo gubi iz vidnog polja teodolita.

Zbog toga se, čim su za to ostvarene tehničke mogućnosti, pristupilo korišćenju radio sredstava za utvrđivanje smera kretanja radio sonde. Prva takva merenja vršena su pomoću dve prijemne stanice, a zatim je konstruisan tzv. radio-teodolit. Sa pojavom radara, koji je korišćen u protiv-avionskoj odbrani u Drugom svetskom ratu, prelazi se na praćenje balona uz pomoć ovog sredstva.



Slika 2 — XV

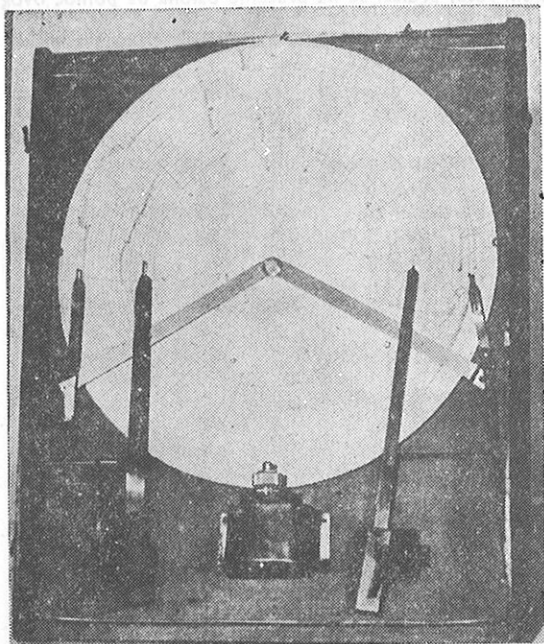
Posle Drugog svetskog rata počinje intenzivan rad na razvoju raketne tehnike, a za meteorološka merenja na visinama do 100 km. mnogo se koriste i trofejne raketa V_2.

MERENJE VETRA NA VISINI

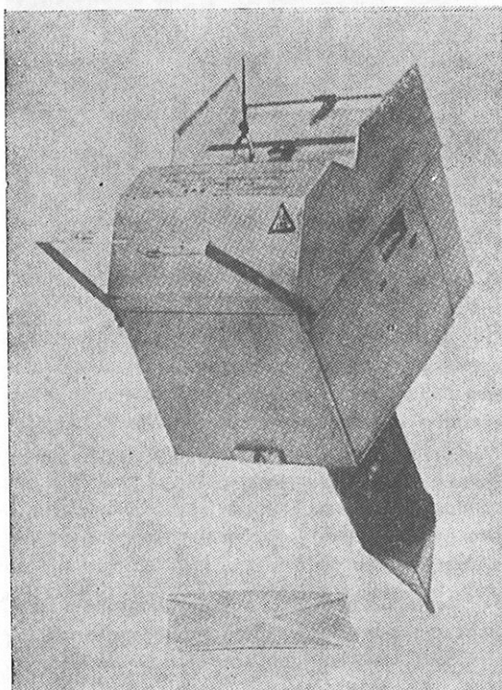
Standardni način merenja vetra na visini je praćenje nekog objekta nošenog vazdušnom strujom. U pilot-balonskim merenjima to je balon praćen sa optičkim teodolitom; kod radio metoda prati se usmerenim prijemnim antenama kretanje male emisione stanice koju nosi balon.

Postoje i druge, specijalne, metode, koje se primenjuju kod raketnih osmatranja.

Podaci o visinskom vetru koji se koriste u sinoptičkim kartama, obično reprezentuju brzinu vetra u sloju od približno 1000 m. debljine. Horizontalne razmere prostora koji je pokriven jednim podatkom su 300—500 km. Prilikom prolaska kroz navedeni sloj vrši se dva do tri os-



Slika 3 — XV



Slika 4 — XV

matranja. Greške koje se pojavljuju u izračunavanju srednjeg vetra nastaju usled nedovoljno tačnog utvrđivanja položaja balona u dva uzastopna trenutka. Greške mogu biti u utvrđivanju položaja u horizontalnoj ravni i visini sonde.

Sa *dV* obeležimo grešku vektora vetra, odnosno vektorsku razliku „tačnog" i „pogrešnog vetra", sa *dS* razliku u intenzitetima; sa *dD* razliku u smeru. Na osnovu toga može da se grafički prikaže *dV* kao razlika vektora $\vec{S}$ i $\vec{S_1}$ koji se razlikuju za *dS*, a zahvataju ugao *dD*.

$$(dV)^2 = (dS)^2 + S^2 (dD)^2 \qquad (1,15)$$

Greška usled pogrešnog utvrđivanja visine na kojoj se nalazi sonda zavisi od vetikalnog gradijenta vetra:

$$dV_h = F\left(\frac{dV}{dh}\right) \qquad (2,15)$$

NAČIN RADA RADIO SONDE

Zadatak standardne radio-sonde je da izvrši merenje pritiska, temperature i vlažnosti na različitim visinama od tla do preko 20 km. i da te podatke preda prizemnoj stanici koja prati njeno kretanje. Specijalne radio sonde mere jačinu električnog polja, sadržaj ozona, ili aerozagađenja u atmosferi i intenzitet zračenja na različitim visinama.

Pošto sonde prilikom svog uzdizanja mogu u jakoj vazdušnoj struji da pređu i do 200 km, potrebno je i da davač na sondi ima odgovarajuću snagu. Uopšte, glavni elementi koji se moraju uzimati u obzir pri izradi radio sonde su pored snage: tačnost, težina i mala osetljivost na teške uslove rada. Na pr. osetljivost davača na velike temperaturne razlike je faktor koji je otežavao uvođenje tranzistorskih davača. Sa druge strane, klasični radio-davači sa elektronskim cevima zahtevaju znatno jači izvor električne energije. Zbog toga još uvek preovlađuju sonde koje moraju da nose velike baterije, tj. baterija predstavlja glavni teret koji balon mora da nosi.

Baloni se izrađuju od vrlo elastične gume. Potreban je vrlo visok kvalitet, jer balon na visinama preko 25000 metara dostiže zapreminu oko 100 puta veću od one koju ima na početku.

Brzina uzdizanja balona se izračunava na način koji se primenjuje i u anemometriji. Naime, konstantna brzina uzdizanja se postiže kada aerodinamička sila otpora drži ravnotežu sili potiska:

$$F = C \rho S v^2 \qquad (3,15)$$

gde je *F*—sila otpora, ρ—gustina vazduha, *S*—površina poprečnog preseka, *v*—brzina vertikalnog uzdizanja balona (horizonatlna brzina ne dolazi u obzir jer je balon nošen vazdušnom strujom), *C*—koeficijenat otpora, koji se određuje eksperimentom.

Kretanje balona je komplikovanije od kretanja lopte, jer se balon deformiše zbog tereta i otpora, a osim toga, sa postizanjem većih visina, balon raste.

Sila potiska data je izrazom

$$F_1 = \frac{4}{3} r^3 \pi \frac{\rho - \rho_H}{\rho} g \qquad (4,15)$$

gde je *r*—poluprečnik, ρ—gustina vazduha, ρ_H—gustina vodonika.

Ravnoteža se uspostavlja kada se sila potiska umanjena za teret koji nosi balon, izjednači sa silom otpora:

$$F_1 - Mg = F \qquad (5,15)$$

gde je Mg—težina sonde.

Tako se dobija:

$$v=\sqrt{\frac{\frac{4}{3}r^3\pi\rho\left(1-\frac{\rho H}{\rho}\right)g-Mg}{C\rho S}} \quad (6,15)$$

Osnovni elementi koji se mere radio-sondom, su pritisak, temperatura i vlažnost. Vetar se meri indirektno, praćenjem sonde. Prijemni elementi za merenje pomoću sonde dele se na dve glavne grupe. U prvoj grupi su elementi pomoću kojih se dobija neka mehanička veličina kao merilo promene, dok su u drugoj grupi elementi kod kojih se promene temperature vlažnosti ili pritiska izražavaju promenom električnih osobina. Ovi drugi su pogodniji za transformaciju u radio signale, jer ne zahtevaju pokretne delove koji mogu znatno da utiču na tačnost i inertnost.

Pošto se sonda uzdiže do visine od 30 km, merni elementi moraju da budu sposobni da rade u vrlo širokom opsegu pritiska, temperature i naravno, vlažnosti.

Za merenje pritiska koriste se najčešće aneroidi. Vidijeve doze su lake i pogodne. Naravno, tu dolazi do izražaja slabost mehaničkog prenosa, kao i osetljivost na promene temperature. Za kompenzaciju temperaturnih promena koristi se bimetal (slično kao kod prizemnih aneroida).

Pored aneroida koristi se na nekim sondama i hipsometar. Kod ovih hipsometara ne meri se tačka ključanja vode, već se koristi umesto vode karbon bisulfid. Na pritiscima ispod 400 mb on ključa bez zagrevanja, pa se temperatura ključanja meri pomoću termistora.

Temperatura se meri najčešće pomoću termometra otpora (provodnici ili poluprovodnici ili pomoću bimetala.

Inertnost termometra je osobina o kojoj se kod radio-sondaže mora voditi još više računa, nego kod standardnih prizemnih merenja. Zbog male gustine vazduha koeficijenti inercije su na visini veći nego pri tlu. Na visini od 15 km. su koeficijenti inercije kod svih termometara približno tri puta veći nego pri tlu.

Zaštita od zračenja je takođe veoma važan preduslov za dobro funkcionisanje elementa za merenje temperature. Sam elemenat treba da ima što je moguće manji koeficijenat apsorpcije zračenja, tako da toplotu sredine prima pretežno provođenjem.

Termistori su veoma pogodni za ovu svrhu jer zbog male mase imaju malu inerciju, a i greške usled apsorpcije zračenja su manje, nego recimo kod bimetala. Slabost im je u tome što nisu dovoljno postojani. Za merenje vlažnosti koriste se dve grupe elemenata. Jedna grupa su elementi kod kojih se koristi uticaj promena vlažnosti na dimenzije elementa (ljudska vlas ili neka opna organskog porekla).

U drugoj grupi su elementi kojima se menja električni otpor.

Slabost elemenata za merenje vlažnosti je u tome što im sa opadanjem temperature veoma mnogo raste koeficijent inercije. Naročito je u tom pogledu nepodesna ljudska vlas. Uostalom, poznato je već iz poglavlja o merenju vlažnosti, da se higrometri malo koriste pri niskim temperaturama.

Najviše korišćen elemenat za merenje vlažnosti u rado-sondama je plastična pločica presvučena tankim slojem litijum-hlorida. Otpor sloja litijum hlorida menja se u granicama od nekoliko megaoma do nekoliko kilooma, u zavisnosti od vlažnosti.

Pošto je ovaj elemenat osetljiv i na promene temperature, moraju se uvoditi odgovarajuće ko rekcije.

Osim litijum hlorida mogu se koristiti i druga higroskopna jedinjenja kojima se otpor menja sa promenom vlažnosti.

Da bi se izmerene vrednosti meteoroloških elemenata emitovale do prijemnog centra pri tlu radio-sonda raspolaže davačem. Davač je male težine i korisno je da ima što manju potrošnju kako bi i baterije bile lagane. Snaga davača treba da bude oko 30 mW, da bi se obezbedio prijem na daljini od 200 km. Prijem na relativno velikoj daljini i pored male snage, moguć je zbog toga što je sonda u svakom trenutku „vidljiva" sa mesta prijema.

Postoje četiri glavne grupe radio-sondi prema principu na kome rade. To su:

a) hronometrijske sonde

b) kodne sond

c) sonde sa promenljivom audio-frekvencijom

d) sonde sa promenljivom radio-frekvencijom

a) Hronometrijske sonde

Tipičan predstavnik ove vrste je tzv. kanadska sonda. Mali elektromotor okreće aluminijumski disk malom brzinom. Na disku je urezana spirala od centra ka periferiji. Čitava površina diska je izolovana, jedino duž spirale poluge koje klize po ploči mogu da uspostave električni kontakt. Položaj svake poluge zavisi od elementa koji se meri. Poluge se znači pokreću slično polugama kod registrirnih instrumenata. Osim poluga koje pokazuju temperaturu, pritisak i vlažnost, postoji i tzv. referencna poluga. Vreme koje protekne od trenutka kada referencna poluga uspostavi kontakt do trenutka kada kontakt uspostavi na pr. poluga za merenje temperatura, biće funkcija temperature. Tako se merenjem vremena između dva signala određuje vrednost temperature. Na isti način se meri pritisak i vlažnost.

b) Kodne sonde

Ovde je opseg merenja elementa podeljen na veći broj manjih koraka. Svakom koraku odgovara određeni kod sličan Morzeovoj azbuci. Na ovom principu je funkcionisala prva uspešna radio-sonda koju je konstruisao Molčanov 1928 godine. Preimućstvo ovakve sonde je u tome što se prijem može vršiti pomoću običnog radio prijemnika.

c) Sonde sa promenljivom audio-frekvencijom

U ovim sondama se noseći talas moduliše oscilacijama iz oblasti zvučnih frekvencija. To se postiže pomoću promenljivih kondenzatora, indukcionih kalema ili otpornika koji su pod uticajem promena meteoroloških elemenata. Najjednostavnije je kod temperature jer se termostat može uključiti u kolo emisije. Tako nisu potrebni nikakvi mehanički prenosi. Kod pritiska se koristi sistem poluga koji širenje Vidijeve doze prenosi do promenljivog kondenzatora. Tipičan predstavnik ove vrste sonde je američka sonda — AN/AMT—4.

d) Sonde sa promenljivom radio-frekvencijom

Na ovom principu radi finska sonda tipa Vajsala. U ovim sondama menja se frekvencija nosećeg talasa. Ovo se postiže tako što se menja kapacitet nekog kondenzatora uključenog u oscilatorno kolo. Slabost ovog tipa sonde je u tome, što zahteva relativno širok opseg frekvencija za svoj rad.

RAWIN

Merenje vetra na visini vrši se obično istovremeno sa merenjem ostalih elemenata. Savremeni uređaj pomoću koga se prati radio-sonda naziva se Rawin, što je skraćenica od radio-wind. On je konstruisan tako da automatski prati radio-sondu, zapravo davač te sonde, sastoji se od pokretne antene na postolju (Sl. 5—XV), mehanizma za pokretanje antene, prijemnika i re-



Slika 5—XV

gistratora. Antenski sistem ima veliki kružni reflektor u čijoj se žiži nalazi dipol. Antena se stalno usmerava prema najjačem signalu, odnosno prema radio-sondi. Azimut i elevacija se registruju neprekidno. Pošto se promena visine određuje pomoću merenja pritiska, temperature i vlažnosti, odnosno na osnovu osnovne jednačine statike, to se iz poznatih uglova i visinske razlike, može odrediti položaj radio sonde u svakom trenutku. U tome je, uostalom, glavna funkcija ovog uređaja za praćenje radio-sonde.

XVI METEOROLOŠKI RADARI

Radar je uređaj pomoću koga se može vršiti „sondaža" udaljenih objekata. U meteorologiji to su u prvom redu hidrometeori. Pomoću radara može se odrediti položaj, visina i vrsta oblaka ili padavina. Najšira primena je danas u vazduhoplovnoj meteorologiji, a sve više se primenjuju i u protivgradnoj odbrani, u eksperimentima sa izazivanjem padavina, kao i za merenje intenziteta padavina (sl. 1—XVI).

Princip funkcionisanja: radar emituje signal koji se reflektuje i vraća nazad. Emisija se vrši u impulsima.

Impulsi traju 1 mikro sekund, dok je pauza znatno duža. Iz vremena putovanja i povratka impulsa određuje se rastojanje do objekta. Davač radi samo milioniti deo sekunde, a hiljaditi deo sekunde čeka da se impuls vrati. Ako signal zbog čiste atmosfere ode dalje, on će sa veće daljine da se vraća, pa se nekada vraćaju signali sa bližih i daljih objekata, istovremeno. Pošto ih prijemnik ne razlikuje, dobijamo takvu sliku, da imamo utisak, da se predmeti nalaze na istoj daljini. Od dužine impulsa *h* zavisi preciznost određivanja rastojanja predmeta. Snaga radara je najčešće od 20 do 1000 KW. Pošto radar emituje samo hiljaditi deo vremena, a ostalo miruje, prosečna snaga je 1000 puta manja. Energija prijema je mnogo manja. Prijem *P* ima određenu donju granicu i ona je određena pragom smetnje.

Radarska jednačina: Radarski zrak emitovan od antene odbija se od pojedinih delića. Oni imaju različitu moć reflektovanja i da bi se to svelo na jednu meru uveden je pojam ekvivalentne površine odjeka. Ta površina obeležava se sa *S*. Intenzitet koji se vraća od kapljice do radara imaće na tom mestu vrednost:

$$\sigma = \frac{S}{4\pi r^2}$$

σ—(reflektovana količina), intenzitet vraćene radijacije.

r—rastojanje od radara.

Reflektovana količina σ naziva se i „reflektujući presek".

Energija prijema na radaru zavisi od emitovane energije antene, udaljenja i dužine impulsa, kao i od faktora slabljenja. Radarska jednačina, kojom se dobija intenzitet energije prijema ima sledeći oblik:

$$P_r = \frac{P_t A_l h}{8\pi r^2} FK \Sigma \sigma$$

P_r—energija prijema

P_t—emitovana energija

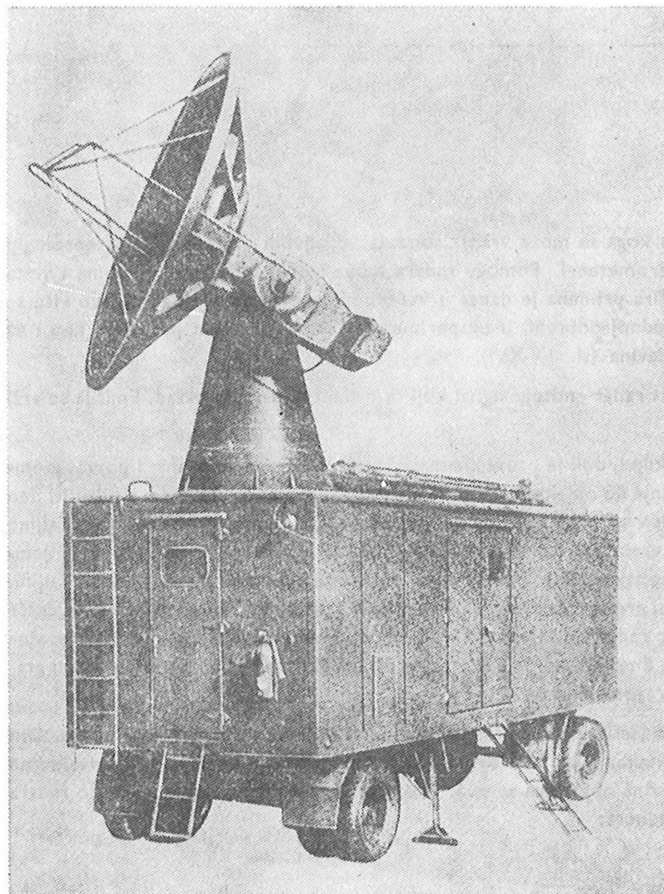
A_e—efektivni otvor antene (površina)

h—dužina impulsa

F—ispunjenost snopa

K—faktor slabljenja (usled apsorpcije i rasipanja)

$\Sigma\sigma$—ukupan zbir uticaja pojedinih čestica



Slika 1 — XVI

P_t—kod različitih radara se kreće od 20 kW do 1000 kW. To je snaga koju davač radara emituje. Pošto radar radi u određenim impulsima to davač ne troši tako veliku energiju. Prosečni radari rade sa snagom od 500 kW. Prijemnik treba da bude što osetljiviji i osetljivost mu je određena granicom šuma. Granice u kojima se kreće su 10^{-13} W $> P_r >$ 10^{-12} W.

A_e—treba da da što je moguće uži snop, jer rasipanje će biti mnogo manje ako je snop uži. Drugo, kada je snop uži, utoliko je veća verovatnoća da će biti popunjen, pa je F približno jednako 1.

Antena ima različitih konstrukcija: veće su obično sferne, a manje su u obliku kriške. Sferne antene daju konusni snop, a manje daju snop u obliku kriške. Snop je pod pravim uglom u odnosu na „krišku" antene. Uglovi konusa su reda veličine 1°. Kod kriškastih antena je oko 2° po horizontali, a po vertikali oko 7°. Ugao konusa je približno: $\alpha \approx 1{,}2\ \lambda/d$.

λ—talasna dužina (duži talasi-veće rasipanje).

d—površina antene u m^2 (veća antena — manje rasipanje).

Važan uticaj rastojanja sastoji se u tome što postoji uticaj zakrivljenosti zemljine površine. Ako imamo jednu nepogodu na 100 kilometara i drugu na 400 kilometara, stičemo utisak da ona na 400 kilometara, ima mnogo manji intenzitet, jer zbog zakrivljenosti zemlje radar nije u stanju da vidi donje delove oblaka. Zbog toga je i ispunjenost snopa F manja na većim rastojanjima. K—faktor slabljenja, posledica je rasipanja i apsorpcije elektromagnetnih talasa. Apsorpcija zavisi jako od talasne dužine. Talasna dužina kod meteoroloških radara je najčešće 0,8; 3 i 10 cm. Najmanje se apsorbuju dugi talasi (10 cm), a najjače kraći (0,8 cm). Za veća rastojanja se zato upotrebljavaju 10 cm. talasne dužine, a za manja 0,8 cm.

Uporedni pregled slabljenja različitih talasnih dužina pri prolasku zraka kroz zavesu padavina intenziteta 1 mm/h, na rastojanju od 1 km, dat je sledećom tabelom.

tal. duž.	10 cm.	5,7 cm.	3,2 cm.	0,9 cm.
slabljenje, db/km.	0,0006	0,0040	0,0140	0,440
rel. jedinica	1	7	25	700

Vrste radara Za meteorološke svrhe radari se uglavnom klasifikuju prema talasnim dužinama. Radari sa najvećom talasnom dužinom koji se koriste u meteorologiji su radari talasne dužine 23 cm. To nisu čisto meteorološki radari, više se koriste za praćenje aviona i imaju vrlo veliku prodornost.

Sledeći po talasnoj dužini su radari sa talasnom dužinom od 10 cm. Oni se veoma mnogo koriste iz dva razloga. Jedan je, što je veliki broj tih radara ostao iz vojnih rezervi drugog svetskog rata; drugi, što se pomoću njih mogu dobro otkrivati oblasti u kojima pada kiša.

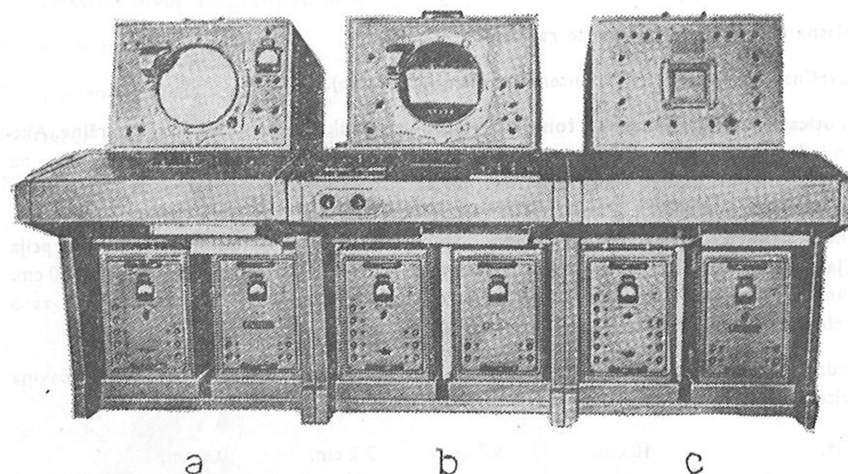
Talasna dužina od 6 cm se sve više koristi u novije vreme, naročito na avionskim radarima, koji moraju da imaju manju antenu, a kraće talasne dužine zahtevaju i manje dimenzije antene. Talasne dužine od 3 cm se takođe koriste. Preimućstvo im je u malim dimenzijama i proizvode se za manje avione i motorne čamce. Takođe im je preimućstvo u tome što je potrebna manja snaga davača za isti kvalitet prijema kao kod većih talasnih dužina. Ovo je zbog toga što je prijemni signal obrnuto proporcionalan četvrtom stepenu talasne dužine; Slabost ovih talasnih dužina je u velikoj apsorpciji od strane kišnih kapi. Koriste se i kraće talasne dužine i to 1,25 cm i 0,8 cm. Slabost radara od 1,25 cm je u tome što te dužine apsorbuje vodena para, pa su radari talasne dužine od 0,8 cm nešto bolji. Međutim, ovako kratke talasne dužine se koriste u posebne svrhe, kao što je sondiranje oblačnih slojeva u neposrednoj okolini aerodroma, ili otkrivanje magle na rastojanjima do 20 km.

Radari su najčešće postavljeni na aerodromima zbog neophodnosti meteorološkog obezbeđenja vazdušnog saobraćaja. Postoje neki izvanredno jaki radari na planinskim vrhovima, kao što je radar japanske meteorološke službe na vrhu Fudži Jama. Ovaj radar pokriva čitavu teritoriju Japana, i služi za otkrivanje tajfuna koji se približavaju ostrvima Japana.

Pošto postoji mogućnost refleksije i od tla, antene se postavljaju sa izvesnim malim uglom elevacije. Taj ugao je kod meteoroloških radara obično oko pola stepena.

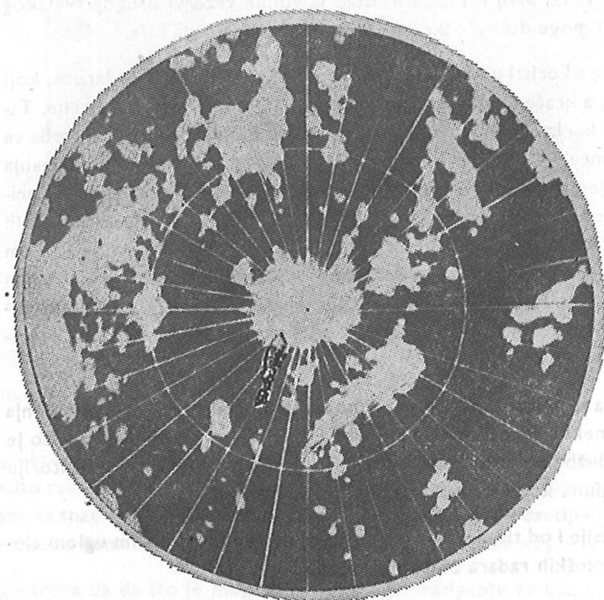
U cilju prenošenja na daljinu radarske slike se mogu šifrovati, kopirati i fotografisati. Postoji i način direktnog prenošenja. Za to se koriste UKT radio veze, slične poštanskim vezama.

Postoje tri vrste ekrana i to: 1. panoramski ekran na kome se vidi slika oblaka, kao da je snimljena iz satelita sl. 2 *a* i sl. 3—XVI; 2. Na drugom ekranu vidi se visina i udaljenost (daljina, visina)

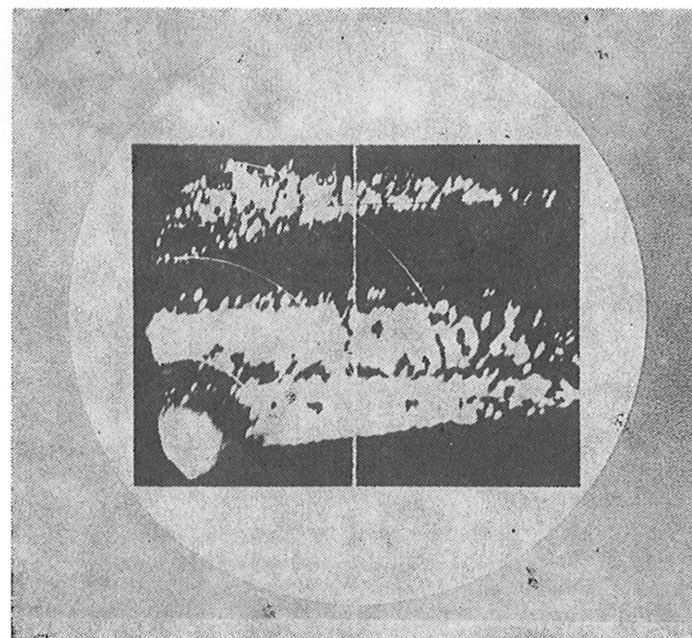


Slika 2 — XVI

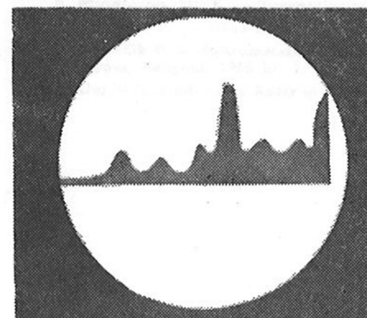
— vertikalni presek (sl. 2 *b*. i 4—XVI); 3. Ekran koji daje intenzitet na pojedinim odstojanjima (sl. 2 *c* i 5—XVI).



Slika 3 — XVI



Slika 4 — XVI



Slika 5 — XVI

LITERATURA

1. Handbook of Meteorological instruments, I, II; London, 1961.
2. **Kleinschmidt, E.** — Handbuch der meteorologischen Instrumente und ihrer Auswertung — Berlin, 1951.
3. **Kedrolivanskij V. H.** — Meteorologičeskie pribori. Gidrometeoizdat, Moskva, 1953.
4. **Sternzat M. S.** — Meteorologičeskie pribori, nabljudenija i ih obrabotka. Gidrometeoizdat, Leningrad, 1968.
5. **Kačurin L. G.** — Električeskie izmerenija aerofizičeskih veličin — Leningrad, 1962.
6. Rukovodstvo k laboratornim rabotam po eksperimentaljnoj fizike atmosferi — Leningrad, 1969.
7. Spravočnik po gidrometeorologičeskim priboram i ustanovkam — Leningrad, 1971.
8. **Middleton, W. E.** — Meteorological instruments — London, 1953.
9. **Gburčik P.** — Neka iskustva u primeni termistora — Zbornik HMS, 1964.
10. **Gburčik P.** — Psihrometarski rezervoar sa konstantnim nivoom vode — Zbornik meteoroloških i hidroloških radova, Beograd, 1969 br. 3.
11. Use of Ground- based Radar in Meteorology-WMO-Technical Note No. 78. — Geneva — 1966.

REGISTAR

Analogne računske mašine 156
Aktinograf 83
Aktinometar 77
Anemograf
Čadeža 119
električni 118
Fusov 118
Anemometar
sa elisom 112
kontaktni 117
sa obrtnim čašicama 111, 116
sa pločicom 109, 115
sa usijanom žicom 114, 158
Aneriod 101
Angstremov pirheliometar 82
Automatska meteorološka stanica 159
Automatizovani sistemi 161
Apsorpcija 74, 92
Asmanov psihrometar 46

Balon
pilot 137, 165
radio sondažni 165
Barograf 103
Barometar 93
Baždarenje 29, 41, 56, 105, 123
Besonove grablje 135
Bilans zračenja 89
Bilansmetar 84, 86
Bimetal 13
Bimetalni aktinometar 83
Burdonova cev 15, 103
Brzina vetra 108

Difuzija 73
Dinjesov meteorograf 166

Džordanov heliograf 87

Elektrometar
kvadrant 130
Braunov 131
Eksnerov 132
Električno polje 128
Električne struje 134
Efektivno izračivanje 74

Fluks zračenja 68
Fotografije oblaka
sa satelita 92
sa tla 138
Fotoćelija 145

Greške
opšte 3,4
termometara 19
barometara 94
aneroida 103

Helmanova vadilica 57
Higrograf sa dlakom 43
Higrometar
sa dlakom 39
kondenzacioni 43
sa opnom 44
Hilova kamera 140
Hipsometar 105

Inercija termometra 7
Integrator 156
Isparavanje 61
Isparitelj
Vildov 62
Pišeov 62
Popovljev 63

Karnoov ciklus 6
Kempbel — Stoksov heliograf 87
Kišomer 53
Kolektor 129, 132
Kompjuter 156
kondenzacioni higrometar 43

Korekcije barometra 98
Kosa vidljivost 141

Manometar 112
Marvinov heliograf 87
Merenja 3
Molčanovljeva radio-sonda 166

Ogledalo za oblake 137

Padavine 53
Pilot — balon 137, 165
Pirheliometar 78
Platina 22, 157
Pluviograf 54
Pritisak 93
Psihrometar
  Asmanov 47
  Augustov 46
Psihrometarske tablice 50
Psihrometarska formula 51
Pulzacija 155

Radar meteorološki, 173
Radarska jednačina 173
Radijacija 67
Radio-sonda 165, 169
Ravin 172
Registrirni instrumenti 14, 43, 54, 83, 87, 103, 118, 158, 166
Reflektor 138
Robičev aktinograf 83

Sateliti 91
Silometar 138
Sifon 54
Smer vetra 107
Snegomerna vaga 57
Solarna konstanta 71

Spektar zračenja 70, 75
Struktura atmosfere 155

Temperatura 3
  vode 35
  skale 5
  tla 31, 34
Teodolit 166
Termograf 14
Termistori 22
Termometar 24
  bimetalni 13
  gasni 12
  minimalni 18
  maksimalni 17
  otpora 21, 22
  psihrometarski 19
  radijacioni 161
  stanični 17
  sa tečnošću 15, 19
  vrste 11
Totalizator 54
Transmisija signala 162
Turbulencija 3

Vidijeva doza 104, 165
Vidljivost 142
Vizibilimetar 145
Vlažnost
  apsolutna 37
  relativna 39, 40, 44

Zračenje
  difuzno 83
  direktno 81
  globalno 83
  zakoni 69
  zaštita 3

Živa 16, 93